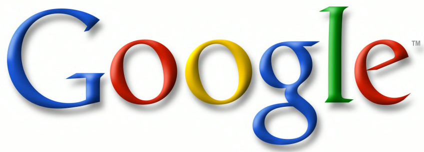
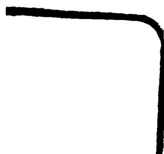



SIGILLVM ACADEMIAE HARVARDIANAE IN NOV ANG
VE RI TAS
CHRISTO ET ECCLESIAE



370

ANNALES

DES MINES.

COMMISSION DES ANNALES DES MINES.

Les ANNALES DES MINES sont publiées sous les auspices de l'administration générale des Ponts et Chaussées et des Mines, et sous la direction d'une commission spéciale formée par le Ministre des Travaux Publics. Cette commission est composée, ainsi qu'il suit, des membres du conseil général des mines, du directeur et des professeurs de l'École des mines, et d'un ingénieur, adjoint au membre remplissant les fonctions de secrétaire :

L'administration a réservé un certain nombre d'exemplaires des ANNALES DES MINES pour être envoyés, soit à titre de don aux principaux établissements nationaux et étrangers, consacrés aux sciences et à l'art des mines, soit à titre d'échange aux rédacteurs des ouvrages périodiques français et étrangers, relatifs aux sciences et aux arts. — Les lettres et documents concernant les ANNALES DES MINES doivent être adressés, *sous le couvert de M. le Ministre de l'Agriculture, du Commerce et des Travaux Publics, à M. l'ingénieur en chef, secrétaire de la commission des* ANNALES DES MINES, rue Bonaparte, n° 1, à Paris.

Avis de l'Éditeur.

Les auteurs reçoivent *gratis* 15 exemplaires de leurs articles formant au moins une feuille d'impression. Ils peuvent faire faire des tirages à part à raison de fr. par feuille jusqu'à 50, 10 fr. de 50 à 100, et 5 fr. pour chaque centaine ou fraction de centaine à partir de la seconde Le tirage à part des planches est payé sur mémoire, au prix de revient.

La publication des ANNALES DES MINES a lieu par cahiers ou livraisons qui paraissent tous les deux mois. — Les six livraisons annuelles forment trois volumes, dont un consacré aux actes administratifs et à la jurisprudence. — Les deux volumes consacrés aux matières scientifiques et techniques contiennent de 70 à 80 feuilles d'impression, et de 18 à 21 planches gravées. — Le prix de la souscription est de 20 fr. par an pour Paris, de 24 fr. pour les départements, et de 28 fr. pour l'étranger.

PARIS. — IMPRIMÉ PAR E. THUNOT ET Ce, RUE RACINE, 26.

ANNALES
DES MINES

OU

RECUEIL

DE MÉMOIRES SUR L'EXPLOITATION DES MINES

ET SUR LES SCIENCES ET LES ARTS QUI S'Y RATTACHENT,

RÉDIGÉES

PAR LES INGÉNIEURS DES MINES,

ET PUBLIÉES

SOUS L'AUTORISATION DU MINISTRE DES TRAVAUX PUBLICS.

SIXIÈME SÉRIE.

MÉMOIRES. — TOME XI.

PARIS.

DUNOD, ÉDITEUR,

SUCCESSEUR DE Vor DALMONT,

Précédemment Carilian-Gœury et Victor Dalmont,

LIBRAIRE DES CORPS IMPÉRIAUX DES PONTS ET CHAUSSÉES ET DES MINES,

Quai des Augustins, n° 49.

1867

BIBLIOGRAPHIE.

PREMIER SEMESTRE DE 1867.

OUVRAGES FRANÇAIS.

1° *Mathématiques pures.*

AMIGUES. De l'*hypothèse* de Laplace sur l'origine du Système solaire. Conférence faite à l'hôtel de ville de Cahors, le vendredi 15 mars 1867. In-8, 24 p. (4985)

Annales de l'Observatoire impérial de Paris. T. XXI, 1865, in-4, VIII-367 p. (3763)

AOUST. Recherches sur les surfaces du second ordre, 2e partie. In-8, 36 p. (4236)

BERTRAND. Traité d'arithmétique. 4e édition, contenant les matières exigées par le dernier programme d'admission à l'École Polytechnique. In-8, 344 p. (2750)

BERTRAND et GARCET. Traité d'algèbre. 1re partie à l'usage des classes de mathématiques élémentaires, 5e édition, revue et mise en harmonie avec les derniers programmes officiels. In-8, IV-330 p. (1798)

DESPEYROUS. Note sur la prédiction des éclipses de lune et de soleil et sur celle des occultations des étoiles par la lune. In-8, 7 p. (160)

FLAMMARION. Les merveilles célestes, lectures du soir, 2e édition illustrée de 46 vignettes astronomiques et de 2 pl. in-18 jésus, 400 p. (1414)

FLEURY. Nouvelle théorie des fonctions qui se présentent sous une

forme dite indéterminée; précédée de la démonstration d'une erreur fondamentale qui existe dans la théorie ordinaire. In-8, 44 p. (1416)

HUGO. Essai de géométrie polyédrique. Théorie des cristalloïdes élémentaires. In-8, 59 p. et 4 pl. (468)

JEANNE. Cours d'arithmétique commerciale renfermant une exposition très-complète des mesures, poids et monnaies de l'Angleterre et des États-Unis, leur conversion en équivalents français, et réciproquement, la solution de plus de 300 problèmes sur le système métrique, etc., ouvrage rédigé conformément aux programmes officiels de 1866 pour l'enseignement secondaire spécial (2e année). 2e édition in-18 jésus, 347 p. (1863)

LA GOURNERIE (DE). Recherches sur les surfaces réglées tétraédrales symétriques. In-8, XVIII-288 p. (975)

LE VERRIER. Sur l'origine des étoiles filantes, lettre à sir John Herschel. In-8. 29 p. (1676)

Mémoires de l'Académie des sciences de l'Institut impérial de France. T. XXIX, Théorie du mouvement de la lune, 2e volume in-4, XI-931 p. (2641)

MOITESSIER. De l'emploi de la lumière polarisée dans l'examen microscopique des farines. In-8, 23 p. et pl. (1697)

2° *Physique et Chimie.*

BAUR. Observations météorologiques faites à Metz en 1865. In-8, 34 p. (377)

BÉCHAMP. Analyse des eaux de Vergèse (sources des Bouillens, Dulimbert et Granier), suivie de considérations thérapeutiques. In-8, 60 p. (4645)

BÉRON. Physique céleste, contenant le système du monde exposé d'après la distribution apparente des corps célestes déduite de la perspective et d'après la distribution réelle de ces corps, déduite de l'astrogonie. T. I et II, in-8, XXXI-928 p. (4022)

BERTIN. Étude sur la glace des glaciers. Mémoire lu à la société des sciences naturelles de Strasbourg. In-8, 8 p. (11)

BERTIN. Quelques réflexions sur les poussières atmosphériques, à propos d'un travail du docteur Vivenot, sur un obscurcissement particulier du ciel, en Sicile. In-8, 20 p. (4646)

BOUTAN et D'ALMÉIDA. Cours élémentaire de physique, suivi de problèmes. 3e édition entièrement revue et considérablement augmentée. T. I, in-8, 559 p. (398)

CHAUTARD. Résumé des observations météorologiques faites à la

Faculté des sciences de Nancy en 1866. In-8, 22 p. et tableaux (3811)

COMBES. Exposé des principes de la théorie mécanique de la chaleur et de ses applications principales. In-8, 292 p. (1367)

DAGUIN. Sur une aiguille libre et sur une nouvelle disposition de la boussole d'inclinaison. In-8, 7 p. (33)

DAGUIN. Mémoire sur l'explication, dans le système des ondulations, des effets que produisent la chaleur et la lumière sur les corps. In-8, 12 p. (667)

FERREIRA. Hydrologie générale, ou dissertation sur la nature, les qualités et les usages des eaux naturelles et artificielles, minérales et potables. Thèse pour le doctorat ès-sciences, présentée à l'Université de Bruxelles. In-4, 410 p. (4096)

FONVIELLE (DE). Eclairs et tonnerre. Ouvrage illustré de 39 vignettes sur bois. In-18 jésus, 369 p. (189)

FRÉSÉNIUS. Traité d'analyse chimique quantitative, traité du dosage et de la séparation des corps simples et composés les plus usités en pharmacie, dans l'industrie, les arts et en agriculture, analyse par les liqueurs titrées, analyse des eaux minérales; traduit de l'allemand sur la 5e édition. Avec 190 figures dans le texte. Grand in-18, III-1000 p. (3840)

FREY. *Le Microscope*, manuel à l'usage des étudiants, seconde édition, avec 62 figures dans le texte et une note sur l'emploi des objectifs à correction et à immersion. In-8, VIII-261 p. (3652)

HOEFER. Histoire de la chimie, 2e édition, revue et augmentée. T. I, in-8, X-542 p. (213)

GERHARDT et CHANCEL. Précis d'analyse chimique qualitative, 2e édition avec 148 figures dans le texte. 2e tirage. In-18 jésus, III-703 p. (708)

LIÉBIG (DE). Le développement des idées dans les sciences naturelles. Études philosophiques. In-8, 46 p. (4698)

LIÉBIG (DE). Rapport de M. le baron de Liébig sur l'analyse de différentes feuilles du mûrier, relativement à la maladie du ver à soie. In-8, 15 p. (4699)

NAQUET. Principes de chimie fondés sur les théories modernes, 2e édition revue et considérablement augmentée. T. II, in-18 jésus, 634 p. avec 16 gravures (3091)

PAYEN. L'éclairage au gaz. In-18, 50 p. (3101)

PAYEN. Chimie industrielle à l'usage: 1° des écoles d'arts et manufactures et d'arts et métiers; 2° des écoles préparatoires aux professions industrielles; 3° des fabricants et des agriculteurs. 5e édition où l'on a introduit les derniers perfectionnements ap-

portés aux applications de la chimie et plusieurs chapitres sur les industries nouvelles. T. I, in-8°, 708 p. et 17 pl. (5159)

PLAGNIOL. Deux études scientifiques locales. Note sur la variation de la déclinaison magnétique à Nîmes, de 1854 à 1864. Note sur un insecte nuisible à la vigne. In-8, 8 p. (2451)

PRIVAT-DESCHANEL et FOCILLON. Dictionnaire général des sciences théoriques et appliquées. T. II, 1re partie, gr. in-8, à 2 col. 1151-1770 p. (795)

ROTTÉE. Météorologie. Statistique des orages à grêle, des tempêtes, bourrasques, trombes et ouragans qui ont éclaté sur le territoire formant le département de l'Oise depuis la fin du XIIe siècle jusqu'à nos jours, avec une carte in-8, 16 p. (2469)

SAIGEY. La physique moderne, essai sur l'unité des phénomènes naturels. Gr. in-18, 232 p. (2698)

STOCKHARDT. La chimie usuelle appliquée à l'agriculture et aux arts. In-12, 528 p. (3349)

WAGNER. Mémoire sur le pendule et le balancier, considérés comme régulateurs des instruments à mesurer le temps, renfermant les résultats d'un grand nombre d'expériences sur les résistances que l'air oppose à la marche du pendule. Suivi d'un mémoire sur les échappements simples usités en horlogerie, publié en 1847. Gr. in-8, 126 p. et 5 pl. (4631)

3° *Géologie, Minéralogie, Métallurgie.*

BLEICHER. Recherches géologiques faites dans les environs de Rome. In-8, 35 p. (13)

BOMAN. Traité de la fabrication de l'acier par le procédé Bessemer en Suède. In-8, 71 p. (1567)

BURAT. Les houillères de la France en 1866. In-8, 316 p. (1813)

BOURLOT. Réactions de la haute température et des mouvements de la mer ignée interne sur la croûte extérieure du globe.

BURAT (A). Minéralogie appliquée Description des minéraux employés dans les industries métallurgiques et manufacturières, dans les constructions et dans l'ornement. 1 vol. in-8°, avec fig. dans le texte.

COTTEAU. Rapports sur les progrès de la géologie et de la paléontologie en France pendant l'année 1865, in-8. 46 p.

KOECHLIN SCHLUMBERGER et DELBOS. Description géologique et minéralogique du département du Haut-Rhin. T. II, in-8, 551 p. (4065)

DESHAYES (G. P.). Description des animaux sans vertèbres décou-

verts dans le bassin de Paris. Ouvrage complet, 3 vol. in-4 de texte et 2 vol. d'Atlas comprenant 196 pl. lithographiées.

D'Omalius d'Halloy. Abrégé de géologie, 7e édition. 1 vol. in-8° de 625 pages, avec pl. et fig. dans le texte.

Dumortier. Études paléontologiques sur les dépôts jurassiques du bassin du Rhône, 2e partie, Lias-Inférieur. In-8, 260 p., 50 pl. (5061)

Falsan et Locard. Monographie géologique du Mont-d'Or lyonnais et de ses dépendances. In-8, 499 p., 1 carte, coupes, tableaux et 4 pl. (3240)

Huxley. L'homme, sa place dans la création, ce qu'elle a été, ce qu'elle est. 1 vol. in-18, avec fig.

Gassies. Malacologie terrestre et d'eau douce de la région intra-littorale de l'Aquitaine. In-8, 31 p. (5084)

Huber. Les glaciers. In-18. viii-266 p., avec 19 pl. (4683)

Humboldt (de) Cosmos, essai d'une description physique du monde. 4e édition, mise dans un meilleur ordre que les précédentes, et augmentée d'une notice biographique sur Humboldt, avec des fragments inédits de la correspondance de l'auteur. T. I et II, in-8, lxv-1216 p. (4559)

Lapparent (de). Conseils à un jeune amateur de géologie, poëme didactique à l'occasion des courses géologiques de l'École des mines. In-8, 11 p. (3874)

Le Touze de Longuemar. Recherches géologiques et agronomiques dans le département de la Vienne, avec 2 cartes, des profils et une liste générale des espèces fossiles. In-8, 116 p. (1882)

Luuyt. La métallurgie à l'exposition de Stockholm en 1866. In-8, 25 p. (4350)

Lyell. Éléments de géologie, ou changements anciens de la terre et de ses habitants tels qu'ils sont représentés par les monuments géologiques. 6e édition considérablement augmentée et illustrée de 770 gravures sur bois. 2 vol. in-8, vi-1257 p. (2846)

Martins. Glaciers actuels et leur ancienne extension pendant la période glaciaire. In-8, 94 p. (4162)

Percy. Traité complet de métallurgie, avec introduction, notes et appendice, accompagné de figures dans le texte. T. IV, fer et acier. In-8, xv-679 p. et 46 pl. (2278)

Percy. Traité complet de métallurgie, accompagné de figures dans le texte. T. V, cuivre et zinc. 1re partie. In-8, xiv-564 p. (4391)

Pictet. Traité de paléontologie. Deuxième édition. 4 forts vol. in-8, avec un bel atlas de 110 pl. grand in-4.

QUATREFAGES. Physiologie comparée. Métamorphoses de l'homme et des animaux. 1 vol. in-18 jésus.

SIMONIN. Histoire de la terre, origine et métamorphoses du globe. In-18 jésus, 274 p. (3965)

4° Mécanique appliquée. Exploitation et droit des mines.

ARMENGAUD. L'ouvrier mécanicien. Guide de mécanique pratique, précédé de notions élémentaires d'arithmétique décimale, d'algèbre et de géométrie, avec tables et calculs à l'usage des mécaniciens et conducteurs de travaux, etc. 8e édition in-12, 348 p. et 4 pl. (879)

BRETON. Mémoire sur les barrages de retenue des graviers dans les gorges des torrents. In-4, 68 P. et 6 pl. (2145)

BRETON. De l'emploi du fer creux dans les transmissions. In-8, 7 p. (4493)

COMBES PHILLIPS et COLLIGNON. Exposé de la situation de la mécanique appliquée. In-8, 260 p. (3814)

DELETTRE. Enquête sur la situation et les besoins de l'agriculture. In-8, 61 p. (36)

Description des machines et procédés pour lesquels des brevets d'invention ont été pris sous le régime de la loi du 5 juillet 1844. T. LV, in-4, à 2 col., 429 p. et 52 pl. (159)

Description des machines et procédés pour lesquels des brevets d'invention ont été pris sous le régime de la loi du 15 juillet 1844. T. LVI, in-4, 486 p. et 40 pl. (2997)

DESPLANQUES. Comment pourrait-on empêcher le retour des inondations. In-8, 20 p. (161)

DUBOIS. De la déviation des compas à bord des navires, et du moyen de l'obtenir à l'aide du compas de déviation. In-8, VIII-56 p. (4078)

FLACHAT. Navigation à vapeur transocéanienne. Études scientifiques, agitations de la mer, stabilité, forme de navires, résistance à la marche, appareils moteurs, études économiques et de statistiques, services postaux transocéaniens anglais et français, transport des passagers et des émigrants. 2 vol. et un atlas. In-8, 914 p. (945)

FOURNIÉ. Résumé des expériences hydrauliques exécutées par le gouvernement américain sur le Mississipi et remarques sur les conséquences qui en découlent relativement à la théorie des eaux courantes. In-4, XII-128 p. (2201)

GAND. Cours de tissage en 75 leçons (trois années d'études), professé à la société industrielle d'Amiens, 1re année, 25 leçons. Ouvrage enrichi de nombreuses figures. Introduction. Documents historiques sur la création du cours de tissage d'Amiens. In-8, XLII p. (1639)

GIROUD. De l'effilochage des laines; spécialité par le système de lavage complet. Notice publiée à l'occasion de l'exposition universelle de Paris, 1867. In-8, 56 p. (5325)

KRANTZ. Considérations sur le roulis des bâtiments. In-4, 44 p. (2611)

JALABERT. Historique des armes se chargeant par la culasse et des fulminates employés à leur inflammation. In-8, 15 p. et pl. (3666)

JULLIEN. Problèmes de mécanique rationnelle disposés pour servir d'applications aux principes enseignés dans les cours, 2e édition. T. II, in-8, XIV-549 p. (1835)

LAFFINEUR. Traité de la construction des roues hydrauliques, comprenant tous les systèmes de roues en usage, les renseignements pratiques sur les dimensions à adopter pour les arbres tournants, les tourillons, les bras de roues hydrauliques, etc. Ouvrage accompagné de nombreux tableaux et de 8 planches. In-18 jésus, 126 p. (1870)

LOUVRIÉ (DE). Vol des oiseaux : équation du travail, erreur de Navier, aviation. In-8, 10 p. (2427)

MARTIN DE BRETTES. Théorie générale du mouvement relatif des axes de figures et de rotation initiale des projectiles de l'artillerie, et de la dérivation dans l'air. Avec atlas de 17 pl. In-8, XVI-440 p. (2634)

RENUCCI. Mémoire sur un appareil propulseur pour la navigation maritime, puisant sa force motrice dans les vagues et dans le tangage du bâtiment; suivi d'un système de roues de voitures à ressorts sans fin en caoutchouc. In-8, 24 p. et pl. (2462)

TREMAUX. Cause universelle du mouvement et de l'état de la matière. In-8, 50 p. (2483)

TURCK. Notice sur les appareils fumivores appliqués aux foyers des machines à vapeur et notamment aux machines locomotives employant la houille. In-8, 44 p. (1948)

5° Constructions. Chemins de fer.

Annuaire du bâtiment, des travaux publics et des arts industriels, 37e année. In-8, XX-1164. (1104)

Art (l') de plonger et de travailler sous l'eau. Éclairage électrique sous-marin. Description des appareils plongeurs de MM. Rouquairol, ingénieur, et Denayrouze, lieutenant de vaisseau. In-16, 48 p. et pl. (4992)

Aurès. Étude des dimensions du Parthénon, au triple point de vue de l'architecture, des anciennes théories sur la valeur des nombres et de la métrologie, 1er fascicule. In-8, 60 p. et pl. (3778)

Bourassé. Les plus belles églises du monde, notices historiques et archéologiques sur les temples les plus célèbres de la chrétienté, 3e édition. In-8, 584 p. (5264)

Brame. Étude sur les signaux de chemin de fer à double voie. In-8, 263 p. et atlas de 18 pl. (1979)

Castor. Recueil d'appareils à vapeur employés aux travaux de navigation et de chemin de fer. In-8, 194 p. (4261)

Castor. Recueil d'appareils à vapeur employés aux travaux de navigation et de chemin de fer. In-folio, 79 p. et 24 pl. (4502)

Chatignier. Commentaires des clauses et conditions générales imposées aux entrepreneurs des travaux des ponts et chaussées, 5e édition, entièrement refondue d'après le nouveau cahier adopté par l'administration. In-18, VIII-222 p. (414)

Couche. Voie, matériel, et exploitation technique des chemins de fer. Ouvrage suivi d'un appendice sur les travaux d'art. Ier fascicule, grand in-8° de 23 feuilles et atlas de 21 grandes planches.

Denayrouze. Manuel du matelot plongeur et instruction sur l'appareil plongeur Rouquairol-Denayrouze. Basse pression. In-18, 72 p. et pl. (4071)

Flachat. Note sur le fleuve du Darien et sur les projets de canaux interocéaniques du centre de l'Amérique. In-8, 85 p. et 3 pl. (445)

Förster. Monuments d'architecture, de sculpture et de peinture de l'Allemagne, depuis l'établissement du christianisme jusqu'aux temps modernes. Architecture, t. III et IV, sculpture, t. II, peinture, t. II. In-4, 406 p. (701)

Graeff. Appareil de construction des ponts biais. 2e édition. In-4, 192 p. et atlas de 5 pl. (2213)

Guillemin. Chemins de fer. Ouvrage illustré de 120 vign. 2e édition. In-18 jésus, 438 p. (4822)

Jammet. Maçonnerie et carrelage à façon. Prix de règlement applicables aux travaux exécutés dans le courant de 1867, suiv. des sous-détails raisonnés, établis d'après la chambre des entrepreneurs, et des expériences nouvelles. Édition de 1867. In-4. 35 p. (3053)

Jollivet. De la Polychromie de l'architecture par l'emploi des émaux, description d'un exemple à Deauville, extrait des notes inédites sur cette ville. In-8, 22 p. (5354)

Laliman. Reconstruction du canal du Midi, complément du canal de Suez. In-8, 34 p. et carte. (3872)

Lan. Les chemins de fer français devant leurs juges naturels. Traité de la jurisprudence des chemins de fer, mis à la portée des gens du monde. In-18, jésus, 324 p. (2233)

Menuiserie. Série des prix de règlement applicables aux travaux particuliers exécutés dans la ville de Paris, établie par la chambre syndicale des entrepreneurs de menuiserie. In-4, 43 p. (502)

Palaa. Suppléments pour 1865 et 1866 au dictionnaire législatif et réglementaire des chemins de fer et au Répertoire général des documents sur l'établissement, l'entretien, la police et l'exploitation des voies ferrées. In-8, 248 p. (4182)

Perdonnet. Les chemins de fer. In-18, 72 p. (85)

Périn et Juquin. Le nouveau cahier des clauses et conditions générales imposées aux entrepreneurs des travaux des ponts et chaussées (16 novembre 1866) commenté et annoté. In-18, 155 p. (787)

Ramée. Le Palais de l'Exposition universelle au Champ de Mars en *1867*. *In-8*, 15 p. (3719)

Ruelle. Chemins de fer vicinaux ou d'intérêt local, au point de vue de leur exécution. In-8, 32 p. (812)

Sganzin et Reibell. Programme ou résumé des leçons d'un cours de construction avec des applications tirées spécialement de l'art de l'ingénieur des ponts et chaussées. 5e édition entièrement refondue. Texte. Livraisons 1 et 2, 96 p. (3964)

Siebecker. Physiologie des chemins de fer. Grandes compagnies, employés, public, portraits, anecdotes, conseil aux voyageurs. 1re et 2e édition. In-18 jésus, IV-284 p. (5450)

Simon. Nivellement. Notice sur le niveau parallèle, ou description d'un niveau à bulle d'air simplifié et perfectionné, suivie de note sur l'influence d'un tirage oblique du réticule; la détermination de l'horizontale absolue au moyen d'un niveau parallèle; l'application de l'oculaire négatif aux lunettes des niveaux. In-8, 20 p. et 2 pl. (5449)

Tellier. Les chemins de fer départementaux ou d'intérêt local à bon marché. In-8, 79 p. et pl. (334)

6° *Sujets divers.*

Académie des sciences, belles-lettres et arts de Besançon, séance publique du 23 août 1866. In-8, 175 p. (1957)

Aéromotion. Mémoire sur la science et l'art de la navigation aérienne. In-8, 53 p. (4739)

ALBRAND. Le port de Marseille et le commerce maritime de la France. In-8, 15 p. (4740)

Annuaire photographique pour l'année 1867, 3e année. In-18, 232 p. (2117)

Annuaire du ministère de l'agriculture, du commerce et des travaux publics pour l'année 1867. In-8, 400 p. (4004)

Annuaire des marées des côtes de France pour l'année 1868. In-18, XII-308 p. (4743)

Annuaire des conseils et commissions d'hygiène de France; suivi du tableau de classement des établissements insalubres incommodes, d'après le décret de S. M. l'Empereur. Grand in-18, 285 p. (5238)

Assainissement des villes, enrichissement des campagnes par la collecte salubre, la transformation rapide et l'utilisation économique des engrais perdus dans les centres de population. Salubrité, fertilité. Grand in-18, 167 p. (4993)

BADIN. Grottes et cavernes. Ouvrage illustré de 55 vignettes. In-18 jésus, 352 p. (2121)

BAUDRILLART. Éléments d'économie rurale, industrielle, commerciale, cours de 4e année. In-18 jésus, XI-516 p. (3386)

BEAUFRAND et DESCLOSIÈRES. Biographie des grands inventeurs dans les sciences, les arts et l'industrie, 4e édition. In-8, VIII-396 p. (4998)

BEAUVISAGE. Des tables de mortalité et de leur application aux assurances sur la vie (rentes viagères et capitaux payables au décès) avec une nouvelle table de mortalité dressée d'après les décès constatés dans la tontine Lafarge, et la traduction des lois anglaises de 1853 et de 1864 sur les assurances et les rentes viagères de l'État. In-8, XXXIV-71 p. (4480)

BELOT (DE) et LINDEMANN. Amérique centrale. La république du Honduras et son chemin interocéanique. In-8, 72 p. (1532)

BLANCHARD (E.). Les poissons des eaux douces de la France. 1 fort vol. in-8°, avec 151 fig. dessinées d'après nature.

BOUILLET. Dictionnaire universel des sciences, des lettres et des arts, avec l'explication et l'étymologie de tous les termes techniques,

l'histoire sommaire des diverses branches des connaissances humaines et l'indication des principaux ouvrages qui s'y rapportent. 8ᵉ édition. Grand in-8 à 2 colonnes, VIII-1750 p. (1572)

Brongniart (Ad.). Énumération des genres de plantes cultivées au Muséum d'histoire naturelle de Paris. Deuxième édition. 1 vol. in-18 jésus.

Buschen (de). Aperçu statistique des forces productives de la Russie annexé au catalogue spécial de la section russe de l'exposition universelle de Paris en 1867. In-8, 272 p. (4778)

Busst (de). Dictionnaire universel des sciences, des lettres et des arts. In-18 jésus, 578 p. (2147)

Cabreta. De l'émaillerie ancienne et moderne et de quelques émaux envoyés du sud-ouest aux galeries de l'histoire du travail. (Exposition universelle de Paris, 1867.) In-8, 31 p. (4780)

Cantoni. Exposition universelle de Paris 1867. Les produits de l'agriculture du Piémont, de la Lombardie et de la Vénétie, classes 43, 67, 69, 71 et 81. In-4, 28 p. (4781)

Cap. La science et les savants au XVIᵉ siècle, tableau historique. In-12, XV-317 p. et grav. (5272)

Carvallo. Assainissement et culture du delta des grands fleuves. Expériences dans le delta de l'Ebre. In-8 à 2 col., 20 p. (4501)

Castex (de). Examen de quelques questions relatives à l'enquête sur l'état de l'agriculture en France. In-8, 56 p. (404)

Catalogue des produits des colonies françaises, précédé d'une notice statistique. Exposition universelle de 1867. Grand in-8, 155 p. (5023)

Catalogue général publié par la commission impériale. Exposition universelle de 1867 à Paris, annexe agricole Billancourt. Grand in-18, 62 p. (5025)

Catalogue spécial de l'exposition universelle de Paris, 1867, édité par la commission de la Prusse et des états de l'Allemagne du Nord. Grand in-18, 326 p. (5026)

Chautard. Exposé théorique et pratique des sources de chaleur et de lumière. 1 vol. in-8°, avec fig. dans le texte.

Chevalier. L'immense trésor des sciences et des arts ou les secrets de l'industrie dévoilés, 12ᵉ édition. In-8, 448 p. (26)

Claudsolles. Éléments de géographie universelle suivant les rapports de cette science avec l'astronomie, la météorologie, l'histoire, l'ethnographie, la politique. 9ᵉ édition. In-18 jésus, XII-323 p. (4510)

Combberousse (de). Les grands ingénieurs. In-18, 72 p. (29)

Commoin. Tarif usuel selon le système métrique pour la réduction

des bois en grume, mesurés de 3 en 3 centimètres pour les grosseurs, et de 25 en 25 pour les longueurs, conformément à la délibération de l'assemblée générale des entrepreneurs de charpente du département de la Seine. 11e édition. In-12, 144 p. et pl. (2166)

Coré. Guide commercial des constructeurs-mécaniciens, des fabricants et des chefs d'industrie. 2e édition. In-8, XIV-448 p. (153)

Costa de Bastelica. Reboisement des montagnes. Mémoire sur les inondations. In-8. 47 p. (1996)

Danilewski. Coup-d'œil sur les pêcheries en Russie, exposé statistique et technique, annexé à la collection des produits et outils de la pêche envoyés par la Russie à l'exposition universelle de Paris de 1867. In-8, 79 p. (4061)

Darcel. Musée du moyen-âge et de la renaissance, série D. Notice des émaux et de l'orfévrerie. In-12, XXII-555 p. (4514)

Delessert. Notre câble transatlantique (France aux États-Unis?). Note et projet. Grand in-8, 40 p. et pl. (4520)

Du Roselle. Les eaux des égouts et les fosses d'aisances dans leurs rapports avec les épidémies. In-8, 32 p. (3445)

Duchartre. Éléments de botanique. 1 fort vol. in-8°, avec 506 fig. dessinées d'après nature. Cartonné.

Esquisse géologique du Canada; suivie d'un catalogue descriptif de la collection de cartes et coupes géologiques, livres imprimés, roches, fossiles et minéraux économiques envoyés à l'exposition universelle de 1867. In-8, 72 p. (4303)

Études sur l'exposition de 1867, ou les archives de l'industrie au XIXe siècle, aperçu général, encyclopédique, méthodique et raisonné de l'état actuel des arts, des sciences, de l'industrie et de l'agriculture chez toutes les nations, recueil des travaux techniques, théoriques, pratiques et historiques. 1er fascicule, 15 mai 1867. In-8, 100 p. et 6 pl. (4538)

Exposition universelle de 1867 à Paris, section française, Algérie, catalogue spécial, accompagné de notices sur les produits agricoles et industriels de l'Algérie. In-8, IV-164 p. (4090)

Expositions du Champ de Mars, 1798 et 1867; soixante-dix ans de progrès. Documents officiels et authentiques sur la première exposition française, industrielle, agricole et commerciale. In-8, 48 p. (5308)

Feller. Biographie universelle des hommes qui se sont fait un nom par leur génie, leurs talents, leurs vertus, leurs erreurs ou leurs crimes. 8 volumes in-8 à 2 col., 4776 p. (4546)

Figuier. Les merveilles de la science, t. 1, in-4, p. 1 à 464. (185)

FIGUIER. L'année scientifique et industrielle, ou exposé annuel des travaux scientifiques, des inventions, etc., 11ᵉ année, 1866. In-18 jésus, 508 p. et 2 pl. (699)

FIGUIER. Les grandes inventions anciennes et modernes dans les sciences, l'industrie et les arts, 4ᵉ édit. Gr. in-8, 458 p. (944)

FIGUIER. L'année scientifique et industrielle, ou exposé annuel des travaux scientifiques, des inventions et des principales applications de la science, 11ᵉ année, 1866, 2ᵉ tirage. In-18 jésus, 508 p. et gravures. (4098)

FOUCHER. Manuel d'horlogerie, contenant l'art de faire et de connaître l'échappement à cylindre, de repasser les montres qui portent cet échappement, etc.; complété par 4 grandes pl. 2ᵉ édition corrigée et augmentée. In-12, 232 p. (1637)

FRIGNET. La Californie. Histoire des progrès de l'un des États-Unis d'Amérique et des institutions qui font sa prospérité. 2ᵉ édition revue et enrichie d'une carte de la Californie. In-8, 505 p. (449)

GARNIER. Premières notions d'économie politique, sociale ou industrielle; suivies de la science du bonhomme Richard; l'économie politique en une leçon, et d'un vocabulaire de la langue économique. 3ᵉ édition revue et augmentée. In-18 jésus, xv-286 p. (2208)

GODOFFRE. Des *associations* syndicales, leur régime avant et depuis la *loi du 21 juin* 1865. In-8, IV-293 p. (953)

GRASSET. Note sur les traversées de retour du golfe du Mexique en France. In-8, 51 p. (207)

GUIBERT. Avantages de l'emploi exclusif du fer pour la construction des coques des navires de commerce. In-8, 24 p. (3472)

GUILLEMIN. L'Égypte actuelle, son agriculture et le percement de l'isthme de Suez. In-8, 382 p. et carte. (961)

JOANNE et FERRAND. De Lyon à la Méditerranée. 2ᵉ édit. contenant une carte, 4 plans et 126 vign. In-18 jésus, VIII-442 p. (1447)

JUGLAR. Enquête sur les principes et les faits généraux qui régissent la circulation monétaire et fiduciaire. Grand in-4, 61 pl. et 11 tableaux. (3056)

KERJÉGU (DE). Les souffrances de l'agriculture, I et II; propriété oblige. In-18, 52 p. (723)

LACHÈSE. Études sur les inondations de 1866 à propos de la rupture de la digue insubmersible de Gohier, Blaison, Saint-Saturnin, Saint-Sulpice, Saint-Jean-des-Mauvrets et s'arrêtant au bois d'Angers. In-8, 16 p. (4568)

LADEVI-ROCHE. Le positivisme au tribunal de la science. In-8, VII-132 p. (479)

LAMBERT. Projet de voyage au pôle nord, note lue à la société de géographie dans sa séance publique du 14 décembre 1866. In-8, 15 p. (480)

LE CHARTIER DE SÉDOUY. Enquête agricole : question des engrais. In-8, 21 p. (756)

LE CHER. Mémoire sur l'endiguement et la mise en culture des polders, ou lais de mer de la baie de Bourgneuf (Vendée). In-8, 53 p. et 7 pl. (4168)

LEGOYT. Du morcellement de la propriété en France et dans les principaux états de l'Europe. In-8, 162 p. (1879)

LE GRAS. Phares de la mer Méditerranée, de la mer Noire et de la mer d'Azof (Espagne, France, Italie, États de l'Église, Autriche, Grèce, Turquie et Russie), corrigés en janvier 1867. In-8, 106 p. (1214)

LIAIS. Traité d'astronomie appliqué à la géographie et à la navigation ; suivi de la géodésie pratique. Gr. in-8, XVI-588 p. (139)

LISSIGNOL. Navires en fer à voiles, étude commerciale. In-8, VIII-207 p. (1219)

LULLIER. Essai sur l'histoire de la tactique navale et des évolutions de mer. La marine du passé et la marine contemporaine. In-8, XXXII-447 p. (4862)

MARIAGE. L'industrie sucrière de l'arrondissement de Valenciennes à l'exposition universelle de 1867. Rapport dressé par ordre du comité des fabricants de sucre des arrondissements de Valenciennes et d'Avesnes. In-8, 90 p. et tableau. (4587)

Mémorial de l'artillerie ou recueil de mémoires, expériences, observations et procédés relatifs au service de l'artillerie, rédigé par les soins du comité, avec l'approbation du ministre de la guerre, n° VIII, avec atlas de 24 pl. In-8, VII-479 p. (4869)

MENU DE SAINT-MESMINS. Les câbles transatlantiques. In-8, 39 p. (4364)

MASURE. Leçons élémentaires d'agriculture, 1re partie. Les plantes de grande culture, leur organisation et leur alimentation, à l'usage des agriculteurs praticiens et destinés à l'enseignement agricole dans les écoles spéciales d'agriculture, etc. ; ouvrage orné de 32 gravures. In-18 jésus, 334 p. (4588)

NÈGRE. De la gravure héliographique, son utilité, son origine, son application à l'étude de l'histoire, des arts et des sciences naturelles. Mémoire présenté au congrès scientifique de Nice. In-8, 19 p. (2866)

Notice biographique sur Edmond Bour, lue à la société philomatique de Paris, le 15 décembre 1866. In-8, 16 p. (3701)

Notices sur les modèles, cartes, et dessins relatifs aux travaux publics réunis par les soins du ministère de l'agriculture, du commerce et des travaux publics. Exposition universelle à Paris en 1867. Ces notices donnent des descriptions des différents objets exposés soit par les ingénieurs des mines, soit par les ingénieurs des ponts et chaussées. In-8, 552 p. (4380).

PARVILLE (DE). Causeries scientifiques; découvertes et inventions, progrès de la science et de l'industrie; 6e année. 1866. In-18 jésus, 396 p. avec gravures. (1493)

PERENI. Conversions des mesures, monnaies et poids de tous les pays étrangers en mesures, monnaies et poids de la France. Grand in-18, XII-199 p. (1258)

PEIGNÉ. Métrographie internationale. Spécimen d'un système facilitant la solution des problèmes relatifs aux transactions internationales, et proposés pour amener l'unification des mesures, poids et monnaies dans le monde entier. In-18, 35 p. et 6 tableaux. (3103)

Programme des conditions d'admission à l'École impériale polytechnique, année 1867. In-12. 48 p. (1919)

Programme des conditions d'admission à l'École impériale centrale des arts et manufactures. In-12, 28 p. (2885)

Programme des conditions d'admission aux écoles impériales d'arts et métiers. In-12, 8 p. (2887)

Programme des conditions d'admission à l'emploi de conducteur des ponts et chaussées. In-12. 8 p. (4192)

Programme des conditions d'admission aux écoles des mines. In-12, 12 p. (4193)

Programme des conditions d'admission aux écoles d'hydrographie. In-12, 12 p. (5169)

PUTON. L'aménagement des forêts, traité pratique de conduite des exploitations de forêts, à l'usage des propriétaires, régisseurs, gardes particuliers, administrateurs de forêts, gardes-forestiers, etc., illustré de gravures sur bois. In-8, 165 p. (4195)

RAMES (J.-B.). Études sur les volcans.

REYBAUD. Le Creusot. Extrait du rapport fait par M. Louis Reybaud à la suite d'une mission que lui a confiée l'académie sur la condition morale, intellectuelle et matérielle des ouvriers qui vivent de l'industrie du fer. In-8, 50 p. (5432)

ROBERTSON. La photographie mise à la portée de tout le monde. In-18 jésus, XII-140 p. (1737)

ROBIN (Ch.). Histoire naturelle des végétaux parasites. 1 vol. in-8,

avec atlas de 15 pl., dessinées d'après nature, gravées, en partie coloriées.

ROFFIAC (DE). Plus d'inondations! solution du grand problème de l'équilibre des eaux fluviales et des eaux alimentaires de la France par un système de travaux d'endiguement, de canalisation et d'irrigation. In-8, 43 p. (5437)

SAGOT. Petit traité spécial de la culture des abeilles avec l'aumonière, ruche à cadre et grenier mobile, admise à l'exposition universelle de 1867. Grand in-18, 67 p. (4931)

VAFFLARD. Notice sur les champs de sépulture anciens et modernes de la ville de Paris. In-4, 86 p. et 2 pl. (4624)

VALLIER. Calendrier du cultivateur en Algérie, présentant mois par mois, et pour ainsi dire jour par jour, les travaux et les récoltes que comporte le climat. In-18, 239 p. (5214)

VERVYNCK et DUBOIS. Histoire des expositions industrielles (depuis 1798 jusqu'à nos jours), suivie de l'histoire abrégée de l'industrie, branche par branche. In-18, 237 p. (4627)

VIDAL. De la pisciculture par éclosion artificielle. In-8, 27 p. (3356)

WOLOWSKI. Notions générales d'économie politique. In-18, 69 p. (100)

OUVRAGES ALLEMANDS.

BUTLEROW (A.). *Lehrbuch der organischen...* Manuel de chimie organique, édition allemande. Leipzig.

CLAUSIUS (R.). *Abhandlungen über die mechanische Wärmetheorie.* Dissertations sur la théorie mécanique de la chaleur. 2 vol. Brunswick.

Denkschriften der Kaiserlichen... Mémoires de l'Académie impériale des sciences. Classe des sciences mathématiques et d'histoire naturelle, t. 26. Vienne.

DOVE (H.-W.). *Uber die mittlere und absolute Veranderlichkeit der Temperatur der Atmosphäre...* Sur le changement moyen et absolu de la température de l'atmosphère. Berlin.

SCHOEDLER (Ferd.). *Das Buch der Natur*, *die Lehren der Physik, Astronomie*, *Chemie*, *etc.*, *umfassend...* Livre de la nature, notions développées de physique, d'astronomie, de chimie, etc. 1re partie, physique, géographie physique, astronomie et chimie. 2e partie, minéralogie, géognosie, géologie, botanique, physiologie et zoologie. Brunswick.

Untersuchungen aus dem physiologischem... Recherches faites dans le laboratoire physiologique de Würzburg, 1 feuille avec 6 tableaux lithographiés. Leipzig.

VOGT (Charles). Mémoire sur les microcéphales ou hommes-singes. Bâle.

WOLFF (E.). *Anleitung zur chemischen Untersuchung landwirthschaftlich-wichtiger Stoffe...* Guide pour la recherche chimique des substances les plus importantes pour l'agriculture. 2e édition. Stuttgart.

WOLFF (E.). *Kurze Anleitung zur qualitater Chemischen Untersuchung anorganischer Stoffe...* Guide abrégé d'analyse chimique qualitative pour les substances inorganiques. Stuttgart.

ZELGER (Carl). *Geognostische Wanderungen im Gebiete des Trias Frankens.* Excursions géologiques sur le terrain triasique de la Franconie. Würzbourg.

HART (J.). *Die Werkzeugmaschinen der Maschinenfabriken zur Metall-und Holzarbeitung...* Machines-outils et machines pour le travail des métaux et du bois. Heidelberg.

KNORR (Ed.). *Handbuch der...* Manuel des machines à vapeur des bateaux. Berlin.

RUPPERT (Carl). *Neues System für...* Nouveau système des ponts en fer.

WINKLER (E.). *Die Lehre von der Elasticität...* Étude sur l'élasticité faite au point de vue des applications. Prague.

BARRANDE (J.). Système silurien du centre de la Bohême. 1re partie : Recherches paléontologiques. Vol. II. Céphalopodes. Texte. Classe des mollusques. Ordre des Céphalopodes. Imp. 4. Prague.

BRIO (A.). *Krystallsystem und optische...* Système cristallin et propriétés optiques du formiate de cadmium et de baryte. Vienne.

Correspondenz-Blatt der zoologisch-mineralog. Vereines... Journal de la société zoologique et minéralogique de Regensbourg.

LAUBE (Gust.-C.). *Die Bivalven der braunen...* Bivalves du Jura brun de Balin. Avec aperçu sur leur développement en France, en Souabe, en Angleterre et dans les autres pays. Vienne.

LAUBE (Gust.). *Die Echinodermen der braumen Jura...* Échinodermes du Jura brun de Balin, avec aperçus relatifs à leur développement géognostique en France, en Souabe, en Angleterre et autres pays. Vienne.

LOSCHMIDT (J.). *Zur theorie der Gase...* Sur la théorie des gaz. Vienne.

Mittheilungen der naturforschenden... Communications de la société des naturalistes. Berne.

FRESENIUS. Analyses de la source principale de Driburgen, de celle de Hersten et des boues de bains. Osnabruck, Rackhorst.

DUNKER ET MEYER. *Palæontographica...* Additions à l'histoire naturelle du monde primitif.

STÖLZEL. *Handbuch der technischen...* Manuel de la technologie chimique, 2 vol. Braunschweig. — La métallurgie.

WELTZIEN (C.). *Die Brunnwasser...* Les eaux de source de Carlsruhe, par Birnbaum.

Zeichnungen... Dessins relatifs à l'art de l'ingénieur, 75 tableaux. In-fol. Zurich.

Zeitschrift... Journal de la compagnie télégraphique autrichienne-allemande, par Brix, 13e année, 1866. 12 livraisons. Berlin.

BLANCK (Otto). Sur l'abondance des minéraux dans la province Norbotten en Suède et sur la couche du minerai de fer à Gellivara. Stockholm.

KERL (Bruno). Essai métallurgique à l'usage des cours publics et pour l'étude de la métallurgie. 8 tableaux. Leipzig.

WEISBACH (Albin). Tables pour la détermination des minéraux d'après leurs caractères extérieurs. Leipzig.

Berggesetz, etc... Législation générale des mines pour la Prusse, en juin 1865. Berlin.

Annalen, etc... Annales de chimie et de pharmacie. Leipzig.

COTTA (BERNHARD VON). Géologie de l'époque actuelle. Leipzig.

FRISCHAUF (Jean). Indication de la marche des planètes en Asie. Vienne.

HAGEN (G.). La côte orientale de la mer Baltique en Prusse. Question relative au flux et reflux. Berlin.

HAUER (FR. VON). Les céphalopodes du Trias inférieur des Alpes. Vienne.

HAUER (FR. VON). *Choristoceras...* Description d'un nouveau céphalopode des couches de Koessen.

Jahrbuch, etc... Annuaire de l'Institut impérial-royal-géologique, pour l'année 1866. Vienne.

KNER (R.). *Die Fische...* Les poissons des schistes bitumineux de Refbl en Carinthie. (Ory Karten zaacry Carintja zawsre jest to akais promismja austryacka.)

MARTINS (C.-F.). L'énumération des plantes qu'on trouve au Brésil. (Pncttòmacryì jésure 2 nyrary tacinskie.)

PFEIFFER (Louis). *Novitates conchologicæ.* Dessins et description des mollusques nouveaux.

STEIN (C.-A.). Sur la présence de la chaux phosphatée dans les environs de la Lahn et de la Dile. Wiesbaden.

Verhandlungen... Mémoires de la Société des naturalistes de Bâle, 4e partie, 3e livraison, in-8 avec planches.

VON HAIDINGER. *Der...* La chute des pierres météoriques du 9 juin 1866, observée au village de Knyahinya (2e rapport).

VON DECHEN. *Geologische...* Carte géologique d'ensemble de la Prusse rhénane et de la Westphalie occidentale.

TILSCHER. *System...* Système de perspective technique pour la peinture.

Monatsbericht... Compte rendu mensuel des séances de l'Académie royale des sciences de Berlin.

SOFKA. *Die...* Le refroidissement cosmique, principes de météorologie.

Schriften... Mémoires de la Société des naturalistes de Dantzig.

BISCHOFF *Die Gestalt...* La forme de la terre, du bassin de la mer et l'érosion du fond de la mer.

Meteorologische... Observations météorologiques faites à l'observatoire de Vienne de 1775 à 1855.

OUVRAGES ANGLAIS.

DAVID PAGE. *Geology for general readers...* Géologie à l'usage de tous les lecteurs contenant une série d'esquisses populaires sur la géologie et sur la paléontologie. 2e édition augmentée.

DAVID PAGE. *Handbook of geological terms...* Manuel des termes usités en géologie et en géographie physique.

GRAHAM. *Elements of chemistry...* Éléments de chimie et leur application aux sciences et aux arts.

MITCHELL. *Manual of practical essaying...* Manuel de l'essayeur pratique, à l'usage des métallurgistes, des directeurs de mines et des essayeurs en général.

THOMAS RICHARDSON et HENRY WATTS. *Chemical technology...* Chimie technologique, ou la chimie dans ses applications aux arts et manufactures. 2e édition revue et augmentée.

GEORGE WILSON. *Inorganic chemistry...* Chimie inorganique. Nouvelle édition avec une nouvelle notation.

STEVENSON MACADAM. *Practical chemistry.* Chimie pratique avec une nouvelle nomenclature et une nouvelle notation.

JOHN GRIFFIN. *Chemical recreations*... Récréations chimiques : manuel populaire de chimie expérimentale.

JOHN GRIFFIN. *Chemical testing in the arts by the method of volumetric analysis*... Application de la chimie dans les arts par la méthode de l'analyse volumétrique.

CONDY (H. B.). *Air and water*... L'air et l'eau : leur impureté et leur purification.

URE. *Dictionary*... Dictionnaire des arts, manufactures et sciences. 6e édition revue et augmentée.

GROWE (W.-R.). *The correlation*... Corrélation des forces physiques. 5e édition.

SCOTT (Robert H.). *A handbook of*... Manuel d'analyse volumétrique.

LAWRENCE. *Lithology*... Lithologie : classification synoptique des roches et des minéraux.

BRISTOW (H. W.). *A glossary of mineralogy*... Glossaire de minéralogie.

PHIPSON. *Meteors*... Météores, aérolithes et étoiles filantes.

Monthly... Notices mensuelles de la Société royale d'astronomie de Londres.

CHAMBERS. *Descriptive*... Astronomie descriptive.

HUXLEY. *On*... Sur une collection de vertébrés fossiles provenant des houillères de Jarrow (comté de Kilkenny, Irlande).

— *On*... Sur l'ostéologie du genre Glyptodon.

— *On*... Sur les vertébrés fossiles des Panchet Rocks (Bengale).

— *On*... Sur quelques restes de grands reptiles dinosauriens des montagnes de Stormberg (Afrique du Sud).

— *On*... Sur les méthodes en ethnologie et exposé des résultats obtenus.

GEORGE GREENWOOD. *Rain*... La pluie et les rivières ; 2e édition.

WILLIAM ODLING... *Lectures*... Leçons de chimie animale professées au collége royal de médecine.

GEORGE HARTWIG. *The harmonies*... Les harmonies de la nature et l'unité dans la création.

The alpine... Le guide Alpin, partie orientale des Alpes ; 3e partie.

GEORGE MOORE. *The first*... Le premier homme et sa place dans la création.

HARLEY. *Demonstrations of microscopic anatomy*... Démonstrations anatomiques au moyen du microscope.

WILLIAM LEIGHMON JORDAN. *The elements*... Les éléments, recherche des forces qui déterminent la position et les mouvements de l'Océan et de l'atmosphère.

SAMUEL HAUGHTON. *Manual...* Manuel de géologie; 2e édition revue et considérablement augmentée.

JOHN BALL. *New edition...* Nouvelle édition (1866) du guide Alpin. Guide pour la partie occidentale des Alpes, comprenant le Dauphiné, la Savoie et le Piémont.

MANLEY HOPKINS. *Hawaii...* Royaume des îles Hawaii: son passé, son présent et son avenir.

FERDINAND KELLER. *The lake...* Les habitations lacustres de la Suisse et des autres contrées de l'Europe.

OUVRAGES ITALIENS.

P. SCIVOLETTO. *Sopra...* Sur un nouvel appareil pour déterminer les points de fusion.

PALMIERI. *Nuove...* Nouvelles modifications apportées aux conducteurs mobiles, avec les instructions nécessaires pour en faire usage.

VOLPICELLI. *Ricerche...* Recherches analytiques relatives au lieu géométrique, tant des points de tangence entre deux systèmes de parallèles, avec une série de coniques homofocales que des points d'intersection des tangentes parallèles d'un système avec celle d'un autre.

CANTONI. *Saggio...* Essai de météorologie appliquée à la botanique et à l'agriculture.

SCHIAPARELLI. *Intorno...* Sur le trajet et l'origine probable des étoiles filantes.

G. ARNAUDON. *Sulla....* Sur la connaissance des matières premières du commerce et de l'industrie.

— *Exposizione...* Exposition universelle de Londres de 1851-1852. Relation sur les produits chimiques et les matières colorantes.

F. ANCA, etc. *Monografia...* Monographie des éléphants fossiles de la Sicile.

SISMONDA. *Nuove...* Nouvelles observations géologiques sur les roches anthraxifères des Alpes.

SECCHI. *Descrizione...* Description du météorographe de l'observatoire du collége romain.

OUVRAGES ESPAGNOLS ET PORTUGAIS.

BIGNON. Ejercicios de cálculo diferencial é integral al uso de los alumnos de la Facultad de ciencias de Lima. In-12, 70 p. (12). Exercices de calcul différentiel et intégral à l'usage des élèves de la faculté des sciences de Lima.

PEREIRA DA COSTA. *Commissão...* Commission géologique du Portugal. Mollusques fossiles, gastéropodes des dépôts tertiaires du Portugal.

RIBEIRO. *Commissão...* Commission géologique du Portugal. Études géologiques. Description du terrain quaternaire des bassins du Tage et du Sado.

Observacion... Observatoire royal de Madrid. Observation de l'éclipse de soleil du 6 mars 1867.

RICO Y SINOBAS. *Libros...* Livres des sciences astronomiques du roi don Alphonse X de Castille, réunis, annotés et commentés par Rico y Sinobas.

OUVRAGES SUÉDOIS ET DANOIS.

ERDMANN. *Sveriges...* Recherches sur la géologie de la Suède.

ANDRÆ. *Den...* Mesure d'un degré en Danemark.

OUVRAGES RUSSES.

VON EICHWALD. Documents pour servir à l'histoire de la géognosie et de la paléontologie en Russie. Moscou, 1866.

ANNALES
DES MINES.

FONÇAGE DES PUITS A NIVEAU PLEIN
(PROCÉDÉS KIND ET CHAUDRON).

NOTICE
SUR L'ÉTABLISSEMENT DES PUITS DE LA HOUILLÈRE DE L'HÔPITAL (MOSELLE).

Par M. CHAUDRON, ingénieur des mines en Belgique.

NOTE PRÉLIMINAIRE.

Le bassin houiller de la Sarre, qui donne des revenus considérables au gouvernement prussien, se prolonge comme on sait, au delà des limites de la province Rhénane, dans le département de la Moselle, où il se trouve sous une couche puissante de morts-terrains aquifères, dont la traversée a été jusqu'ici le principal obstacle à la mise à fruit des concessions de mines de houille accordées par l'administration française.

Il résulte des publications faites à ce sujet, notamment par MM. les ingénieurs Jacquot et Lévy, que les nombreux sondages de recherches exécutés dans ce département ont constaté d'une manière positive l'existence, sur une vaste étendue, des belles couches de houille du bassin de Saarbruck.

La formation carbonifère y est recouverte partout d'une forte épaisseur de grès des Vosges et de nouveau grès rouge; les premiers y sont en général très-aquifères.

La puissance de ces morts-terrains est très-variable sur les différents points où l'on a porté les explorations; mais on peut dire en général qu'elle dépasse 150 mètres.

En un seul endroit (*dit la petite Rosselle*), on a pu arriver à la houille à une moindre profondeur (*).

Si l'on parvenait à atteindre assez facilement, par des puits, les gisements houillers de la Moselle, et si, comme cela paraît probable, l'on y rencontrait en bonne allure les couches de houille de la province Rhénane, il n'est pas douteux que les départements de l'Est de la France acquerraient bientôt une très-grande importance au point de vue

---

(*) On ne lira pas sans intérêt les renseignements suivants donnés par M. Lévy :

Quarante-quatre sondages de recherches ont été entrepris dans le département de la Moselle, vers la limite de la frontière prussienne; vingt-six d'entre eux sont arrivés à découvrir des couches de houille exploitables, et, parmi les dix-sept autres, il y en a huit qui n'ont pas été assez profonds pour qu'on puisse affirmer qu'on ne rencontrerait pas la houille en les poursuivant.

Onze concessions de mines de houille, comprenant ensemble une superficie de 217 kilomètres carrés, ont été instituées dans le département de la Moselle, savoir :

1° La concession de Schœnecken d'une étendue de. . . .	2.679	hectares.
2° La concession de Forbach d'une étendue de.	2.468	—
3° La concession de Carling d'une étendue de.	2.767	—
4° La concession de Hochwald d'une étendue de.	2.424	—
5° La concession de l'Hôpital d'une étendue de.	2.586	—
6° La concession de la Houve d'une étendue de.	1.732	—
7° La concession de Falck d'une étendue de.	1.442	—
8° La concession de Bouchporn d'une étendue de.	1.145	—
9° La concession de la Forêt d'une étendue de.	1.712	—
10° La concession de Ham d'une étendue de.	893	—
11° La concession de Dalheim d'une étendue de.	1.608	—

La première date de 1820;
Les autres ont été concédées de 1856 à 1863.

industriel; car les mines de fer presque inépuisables de ces départements leur créent une situation vraiment exceptionnelle pour y fonder des établissements métallurgiques. De nombreuses usines y existent déjà, mais on sait que, jusqu'ici, elles sont toutes tributaires des houillères de la Sarre et de la Belgique, excepté celle de Stiring-Wendel qui commence à s'alimenter des produits de ses propres mines.

L'étude des moyens économiques pour le fonçage des puits à travers les morts-terrains aquifères présente donc, pour ce pays, une importance capitale.

M. de Wendel, l'un des industriels les plus notables de la France, est le premier qui y ait entrepris sérieusement des travaux de ce genre. Dès l'année 1847, la compagnie anonyme des houillères de Stiring, dont il est le principal intéressé, se mit à l'œuvre dans ce but (*).

M. Kind, que ses travaux de sondage ont rendu célèbre, imagina, vers cette époque, un nouveau procédé de fonçage, consistant à forer les puits et à y descendre le revêtement imperméable sans épuiser les eaux provenant des terrains traversés, c'est-à-dire à *niveau plein*.

La compagnie de Stiring s'assura le concours de M. Kind et entreprit successivement, sous sa direction, le forage de trois avaleresses : la première dite *Sainte-Marthe*, près de l'établissement métallurgique de Stiring-Wendel; la seconde *Sainte-Stéphanie*, à peu de distance de la précédente, au

---

(*) Antérieurement, vers 1817, des travaux pour la recherche de la houille avaient été entrepris sur le territoire Français, très-près de la frontière Rhénane, et avaient donné lieu à l'octroi de la concession de Schoenecken (en 1820). Ils furent abandonnés en 1836, sans avoir donné aucun résultat favorable. Une nouvelle compagnie s'était constituée en 1841, pour les reprendre; mais elle eut le même sort que sa devancière.

Enfin, en 1846, cette concession devint la propriété de la compagnie anonyme des houillères de Stiring.

nord; et enfin, un puits destiné à l'aérage, à proximité de Sainte-Marthe.

Malheureusement ces premiers essais du système Kind n'eurent pas un plein succès : le forage des puits se fit très-bien, mais l'imperfection des moyens suivis pour l'établissement des cuvelages, ainsi que certaines circonstances locales, firent échouer les travaux.

Les espérances que l'on avait fondées sur l'application du procédé à niveau plein furent donc déçues dès ce moment, et l'on en revint à essayer les anciens moyens de fonçage des puits, c'est-à-dire le système par épuisement.

Mais le retour à ces moyens coûteux et difficiles devait arrêter l'essor de l'industrie houillère de l'Est de la France. En effet, de toutes les sociétés qui s'étaient constituées pour la recherche et la mise en exploitation des mines de cette localité, une seule, la compagnie Pougnet, à Carling, parvint à atteindre le gisement houiller par un puits; et, il faut bien le reconnaître, ce ne fut qu'à force de persévérance et grâce à l'énergie et aux soins assidus de ses ingénieurs.

Nous ne craignons pas de dire que cette entreprise de Carling a occasionné des frais énormes, et que l'on en est encore aujourd'hui à douter que le cuvelage à segments qui y est établi, puisse résister longtemps à la forte pression qu'il doit supporter (*).

Les travaux que les sociétés de Hochwald et Falck firent exécuter par le système d'épuisement, donnèrent lieu aussi à de grandes dépenses, et ils furent abandonnés sans avoir atteint le terrain houiller.

Dès 1858, on estimait à vingt-un millions de francs, le capital déjà dépensé dans les divers travaux de recherches

(*) La compagnie se prépare à placer un second cuvelage en fonte dans l'intérieur du premier revêtement. Nous pensons que c'est là en effet le seul moyen d'assurer la marche régulière de son exploitation.

et les tentatives d'avaleresse entrepris dans le département de la Moselle.

A la fin de cette année, la compagnie anonyme de Stiring, malgré ses échecs multipliés et ceux de ses voisins, se décida encore à reprendre l'un des puits dont le forage avait été commencé précédemment par M. Kind (le puits Sainte-Stéphanie). Il est vrai que, par un hasard heureux, elle venait de trouver un point de sa concession où le terrain houiller était facilement accessible, et qu'elle y avait établi sans difficulté deux puits (Saint-Charles et Saint-Joseph) (*).

Ce fut là un grand encouragement pour la compagnie de Stiring, et c'est ce qui l'engagea à redoubler d'efforts pour tenter de mener à bonne fin l'une des avaleresses qui se trouvaient dans le voisinage des établissements métallurgiques de Stiring-Wendel.

Le puits Sainte-Stéphanie fut donc repris, mais par les anciens procédés de fonçage. M. l'ingénieur Wolwerth, chargé de la direction de ce travail, y introduisit les divers perfectionnements faits en Angleterre et en Westphalie en ce qui concerne l'application des cuvelages en fonte à segments, dits *tubbincks*.

Cette entreprise nouvelle fut arrêtée, après quelques années de marche, à cause de l'impossibilité de vaincre la venue des eaux avec les engins dont on disposait (**).

Telle était la situation des affaires charbonnières de la

(*) Les morts-terrains aquifères n'ont en cet endroit qu'une épaisseur de 60 mètres; la venue d'eau était faible et l'on n'eut aucune peine à les traverser. Les deux puits Saint-Charles et Saint-Joseph, sont aujourd'hui en pleine exploitation et produisent 600 tonnes de charbon par jour.

(**) Ultérieurement, on fit creuser une seconde avaleresse à côté de la première; on y établit une nouvelle machine d'épuisement et l'on remit les travaux de fonçage en activité. Ils furent de nouveau suspendus en décembre 1866, après avoir atteint à l'un des

Moselle lorsque, en 1862, la société de Saint-Avold et l'Hôpital, représentée par MM. Pereire et Mony, se décida à entreprendre le fonçage de deux puits sur sa concession.

Encouragée par la réussite des divers travaux que nous avions exécutés en Belgique, en suivant le système à niveau plein, cette compagnie n'hésita pas à nous confier la direction de ses travaux.

Les deux puits de l'hôpital devaient avoir l'un 3m,25 et l'autre 1m,75 de diamètre à l'intérieur des brides des cuvelages. Il fut convenu ultérieurement que ces dimensions seraient portées respectivement à 3m,40 et 1m,80.

Le puits n° 1 (le petit) fut commencé à la fin de l'année 1862 ; il était terminé en décembre 1865.

Les travaux du puits n° 2 furent mis en marche dans les premiers mois de 1864 ; ils étaient achevés en avril 1867.

Je dois exprimer ici mes vifs remercîments à MM. Lechatelier et Callon, ingénieurs en chef des mines, qui ont fait adopter notre système pour les puits de l'Hôpital ; à M. Lévy, ingénieur conseil de la société, et à M. Chastelain, ingénieur spécialement placé sous mes ordres, pour leur concours dévoué dans l'exécution des travaux.

La réussite des avaleresses de l'hôpital permettra peut-être aux compagnies houillères du département de la Moselle de se reconstituer et de reprendre les recherches anciennement abandonnées. Nous formons des vœux pour que notre premier succès leur rende la confiance, et nous ajouterons que, nous étant trouvés, pour ces premiers travaux, dans des conditions relativement désavantageuses, nous sommes cependant restés dans des limites de temps et de

---

puits 130 mètres, et à l'autre 140 mètres de profondeur, c'est-à-dire à 30 mètres environ du terrain houiller.

M. de Wendel vient de nous charger de les continuer par le système à niveau plein.

dépenses très-satisfaisantes. Mais, il n'est pas douteux que les travaux ultérieurs à faire dans cette localité seront exécutés plus rapidement encore et avec plus d'économie.

DESCRIPTION DES TRAVAUX DE L'HÔPITAL.

Situation. — La société de Saint-Avold et l'Hôpital a fait, antérieurement à l'obtention de sa concession, trois sondages de recherches. Le premier, près du village de l'Hôpital, a rencontré le terrain houiller à la profondeur de 201 mètres, et, prolongé jusqu'à 414 mètres, il a traversé successivement huit couches de houille. Le second, près de Freyming, a atteint le schiste houiller à 197 mètres; il a été poussé jusqu'à 319 mètres sans donner aucun résultat. Enfin, le troisième, exécuté à frais communs avec la compagnie de Carling, le sondage de Zang, a touché le terrain houiller à 165 mètres et découvert ensuite deux couches de houille.

L'emplacement des puits que nous avions à exécuter, a été choisi sur un terre-plein qui se trouve à une cinquantaine de mètres de distance du sondage dit de l'Hôpital.

La coupe des terrains signalés par ce sondage indiquait 125 mètres de grès des Vosges, et 76 mètres de nouveau grès rouge.

Si l'on tient compte de la différence de niveau des orifices du forage et des puits, qui est de 17 mètres, on aura pour la coupe supposée, d'après les renseignements acquis au début de nos travaux :

	mètres.
Grès des Vosges, épaisseur	142.00
Nouveau grès rouge	76.00
Terrain houiller à	218.00

		mètres.
1re couche de houille d'une puissance de	0.47	à 221.92
2e couche de houille —	0.52	à 266.67
3e couche de houille —	0.60	à 295.70
4e couche de houille —	1.50	à 297.55
5e couche de houille —	1.42	à 359.21
6e couche de houille —	1.90	à 367.05
7e couche de houille —	0.75	à 367.85
8e couche de houille —	2.02	à 370.66
9e couche de houille —	2.91	à 374.62
Profondeur totale de la recherche. . . .		431.00

C'est d'après cette coupe que l'on avait arrêté le projet des avaleresses. Notre entreprise comportait, comme nous l'avons dit, le fonçage de deux puits : l'un de 3m,40 de diamètre à l'intérieur du cuvelage, et l'autre de 1m,80; ils devaient être portés à 160 mètres sous le niveau de l'eau, ce qui correspond à une profondeur, sous le sol, de 177 mèt.; les cuvelages auraient donc pénétré de 35 mètres dans le grès rouge non aquifère.

Cet excès de précaution se justifie; car il avait été constaté, par les travaux de Carling, que les premières assises du nouveau grès rouge sont fissurées et ne retiennent pas les eaux ; ce n'est qu'en établissant les dernières trousses à 18 mètres au-dessous de la tête de ce terrain, que l'on était parvenu à picoter avec succès, et à rendre ainsi le cuvelage étanche à sa partie inférieure.

En plaçant la base de nos revêtements à 35 mètres dans le grès rouge, on avait donc toute chance de se trouver dans des terrains complétement imperméables.

Notre projet fut modifié par la circonstance suivante :

L'exécution de notre premier forage à grand diamètre fit constater que la base du grès vosgien se trouve vers 130 mètres de profondeur, et que, entre 150 et 160 mètres, le grès rouge est très-argileux, et dans les conditions voulues pour former la base des cuvelages. Nous nous sommes donc décidés, dès ce moment, à limiter la profondeur des

puits à 160 mètres, ce qui réduisait la hauteur des cuvelages à 143 mètres.

Travaux. — Nous avons fait connaître, dans un mémoire sur les avaleresses exécutées en Belgique, les diverses opérations que comporte l'application du système Kind (*). Nous croyons donc inutile de reproduire ici avec détail la description de ces opérations, non plus que des machines et outils dont elles nécessitent l'emploi. Il nous suffira d'en mentionner les parties essentielles.

Le forage des puits par notre procédé, comprend :

1° Les travaux d'installation;
2° Le forage du puits;
3° La descente du cuvelage;
4° Le bétonnage;
5° Le picotage à la base du cuvelage.

CHAPITRE Ier.

INSTALLATION.

Les travaux d'installation consistent dans la construction des bâtiments de sondage, le montage des machines et la préparation des outils.

Bâtiments de sondage.

La société de l'hôpital nous ayant soumis le plan des bâtiments définitifs destinés aux divers services du siége d'exploitation à établir, nous nous sommes imposé pour règle de disposer les installations provisoires, nécessaires aux travaux des avaleresses, de manière à ne pas gêner l'établissement des bâtiments à faire ultérieurement, et de permettre même d'utiliser, autant que possible, nos construc-

---

(*) Annales des Mines, tome XVIII, année 1860.

tions provisoires. Les figures 1 et 2 planche I représentent les bâtiments définitifs en projet pour le service de l'exploitation.

Les figures 3, 4 et 5 montrent respectivement les tours d'avaleresse des puits n°s 1 et 2, qui se trouvent à 35 mètres de distance l'un de l'autre, d'axe en axe.

Pour le puits n° 1, exclusivement destiné à l'aérage, nous avons fait simplement une baraque en bois, qui pourra être démontée après l'achèvement de nos travaux spéciaux.

Au puits n° 2, on a établi une tour en maçonnerie calquée exactement sur le carré du futur bâtiment d'extraction; il ne restera donc que bien peu de constructions à faire pour compléter ce bâtiment.

Nous renverrons pour l'examen des dispositions de détail de ces diverses installations, à la description des planches.

Nous nous bornerons à dire ici que, lorsque l'on n'aura en vue que le service des avaleresses, il faudra toujours réduire les constructions à la plus grande simplicité possible : une tour assez haute pour recevoir les tiges de sondage, un petit appenti pour placer les machines, une forge pour réparer les outils et enfin un petit bureau pour le surveillant des travaux, tels sont les bâtiments nécessaires pour les avaleresses à faire par le système à niveau plein; toute autre construction doit être considérée comme du superflu.

Nous insistons sur ce point; car nous avons toujours cherché à réduire autant que possible les dépenses spéciales d'installation, bâtiments, machines et outils, afin de répondre aux objections qui nous ont été présentées à ce sujet, par les adversaires du système, comme un obstacle à son adoption, là surtout où l'on n'a pas de grands *niveaux* à traverser, et où les travaux préparatoires présentent, par conséquent, plus d'importance relative. En résumé, nous n'avons, comme construction spéciale, que la tour de sondage, formée de quatre montants solidement assemblés; et

un chemin de fer placé à une dizaine de mètres de hauteur au-dessus du sol, pour recevoir les wagons sur lesquels on fait rouler les outils, ce qui permet de les manœuvrer très-facilement malgré leurs poids et leurs dimensions considérables.

Machines.

Les machines à vapeur de sondage comprennent le *cabestan*, le *batteur* et le *cheval* d'alimentation.

Le *cabestan* sert à descendre les outils de forage dans le puits, et à les remonter lorsqu'ils ont fonctionné un temps suffisant. Il fait aussi le service du *curage*, c'est-à-dire l'enlèvement des détritus.

Le *batteur* est attelé à l'une des extrémités d'un balancier en bois, qui porte à l'autre côté l'appareil de sondage, et c'est par le mouvement d'ascension et de descente de cet appareil que se produit l'attaque de la roche; les sondeurs doivent se borner à lui imprimer un léger mouvement circulaire, afin de lui faire prendre les diverses positions nécessaires pour battre successivement sur tous les points.

Le *cheval* alimentaire, qui met en marche une pompe à eau froide et une pompe à eau chaude, est indispensable, à défaut de tout autre moyen spécial d'alimentation; car les deux autres moteurs, le cabestan et le batteur, ne fonctionnant qu'à intervalles irréguliers, on ne pourrait pas, en y attachant des pompes, assurer le service permanent du générateur de vapeur. Nous dirons même que, pour parer aux dérangements assez fréquents auxquels les machines d'alimentation sont exposées, on ferait bien d'en avoir deux, afin de pouvoir s'assurer que l'une d'elles est toujours en bon état; on éviterait ainsi bien des chômages forcés qui font perdre du temps et de l'argent, outre qu'ils déconcertent le personnel chargé de l'exécution.

Nous avons peu d'observations à faire sur les machines

de sondage installées à l'hôpital. Chaque puits est muni de son *cabestan* et de son *batteur;* la machine alimentaire et les générateurs sont communs aux deux puits.

Les machines cabestan, construites chez M. Quillacq à Anzin, ont une force nominale de vingt-cinq chevaux : cylindre à vapeur $0^m,50$; course du piston $0^m,80$; deux engrenages et deux pignons ayant respectivement $1^m,40$ et $0^m,35$ de diamètre, c'est-à-dire dans le rapport de 1 à 4. Si l'on suppose une pression de vapeur de 3 atmosphères effectives, l'effort transmis à l'arbre des bobines sur un rayon initial de $0^m,80$ serait donc de $\frac{(0^m,50)^2 \times 3^m,14}{4} \times 3^k,09 \times 0^m,80$ $= 48.513$ kilogrammes. Cet effort est considérable sans doute; mais nous avons eu souvent l'occasion de constater que ces machines cabestans n'étaient pas trop fortes.

Celles que nous avions employées précédemment en Belgique étaient plus petites, et ne représentaient guère comme force motrice que les deux tiers de celles-ci; mais elles nous ont laissé quelquefois en défaut.

Nous conseillons même, pour de nouveaux travaux à entreprendre, d'en forcer encore les dimensions, afin de pouvoir augmenter au besoin le poids des outils, ce à quoi l'on sera amené insensiblement, ainsi que nous le dirons ci-après. D'ailleurs, ces machines devant être utilisées après les travaux de sondage, pour faire le fonçage des puits dans le terrain houiller, il faudra toujours les avoir assez fortes, pour qu'elles puissent convenablement faire ce service ultérieur.

Les organes principaux des machines cabestans, notamment les engrenages, doivent être construits avec un soin tout particulier.

Malgré l'exagération de ses dimensions, le gros engrenage de la machine du puits n° 2 de l'Hôpital s'est cassé par les secousses produites lors de la descente du grand trépan.

Les câbles doivent aussi faire l'objet d'une étude toute

spéciale : nous avons fait usage de câbles en chanvre de très-bonne qualité, ayant $0^m,30$ de largeur et $0^m,06$ d'épaisseur, ce qui correspond à une section de 180 centimètres carrés, et à une résistance pratique d'au moins 18.000 kilogrammes. Il nous est arrivé plusieurs fois des ruptures ; aussi, recommanderons-nous de les visiter souvent et de les remplacer dès qu'ils laissent apparaître la moindre détérioration ; car la chute d'un outil de 10 à 12.000 kilogrammes descendant d'une hauteur de 100 ou 150 mètres, est un accident dont les suites peuvent être graves, et auquel il ne faut pas s'exposer, pour prolonger de quelques mois la marche d'un câble.

L'un de nos ingénieurs, M. Chastelain, nous a proposé de remplacer les cordes par des chaînes en fer, pour le service des cabestans. Si l'on continue à augmenter le poids des outils, on sera vraisemblablement amené à ce résultat ; car on ne pourra pas étendre indéfiniment les dimensions des câbles en chanvre ou en aloës ; nous croyons même être arrivés déjà *à la limite* de ce que l'on peut faire à cet égard.

L'emploi des chaînes ne serait pas sans inconvénient : si l'enroulement sur la bobine ne se faisait pas d'une manière régulière, et cela serait à craindre, il se produirait des secousses, qui sont toujours dangereuses lorsqu'on tient suspendu un outil d'un poids considérable.

La seconde machine de sondage, le *batteur*, se compose tout simplement d'un cylindre à vapeur avec un piston dont la tige est attelée directement au balancier. Celui que l'on a placé au puits n° 1 de l'hôpital avait servi dans nos travaux précédents ; son diamètre est de $0^m,60$. Le batteur du puits n° 2 a été fait sur $0^m,70$ de diamètre. Ces dimensions étaient suffisantes pour les besoins de leur service respectif.

Il est important de choisir un bon système de piston pour ces machines ; car les vibrations produites par le sondage les détériorent rapidement.

Outillage.

Les outils de sondage proprement dits sont :

1° Les trépans qui servent à broyer la roche et que l'on attache au moyen d'une série de tiges en bois au balancier de battage ;

2° La cuiller de draguage, cylindre à soupape avec lequel on enlève les détritus qui s'accumulent au fond du puits, pendant l'opération du forage.

Le puits se fait, comme on sait, en deux fois, et même en trois fois dans des circonstances spéciales : on fore en avance un puits central de 1^{m},37 de diamètre, et les débris de roches provenant de l'élargissement ultérieur tombent dans le petit puits. C'est donc exclusivement dans ce dernier que se fait le curage.

Les outils de sauvetage ne comprennent guère que le crochet de salut, le grappin et la fauchère.

Nous avons décrit tous ces outils d'une manière détaillée dans le rapport publié sur nos premiers travaux; nous nous bornerons donc à faire ressortir ici les changements que nous y avons introduits pour vaincre les difficultés qui se sont présentées dans le forage des puits de l'Hôpital.

Nous n'avons apporté aucune modification à la cuiller de draguage, au crochet de salut, au grappin ni à la fauchère. Ils sont tels que nous les avons employés précédemment, sauf les dimensions. Nous en reproduisons les dessins pour mémoire, *fig.* 1, 2, 3 et 4, Pl. II.

Les tiges de sondage employées à l'Hôpital, avaient 18 mètres de longueur et 0^{m},18 d'équarissage. Les ferrements de ces tiges, les vis d'assemblage, le tourne-trépan et les diverses pièces qui composent l'appareil de suspension de la sonde, ont été renforcés en vue du service important qu'ils avaient à faire et des secousses énormes qu'ils

devaient supporter dans les terrains durs. Ce sont là au surplus des détails sur lesquels les personnes qui auront à s'occuper de semblables travaux seront vite initiées.

L'instrument de sondage, c'est-à-dire le trépan, a subi successivement des modifications que nous allons faire connaître.

Petit trépan à fourche (*fig.* 5, Pl. II). — Le petit trépan primitif mis en œuvre à l'Hôpital pour le forage du puits préparatoire (1m.37 de diamètre), est formé de deux parties principales : la fourche et la lame. Cette dernière, qui est placée à la partie inférieure de l'outil, porte des dents en fer aciéré ou en acier fondu destinées à broyer la roche; elle s'assemble, au moyen de clavettes, sur deux bras en fer surmontés d'une tige centrale qui constituent la fourche. Celle-ci vient enfin s'adapter, par l'intermédiaire de la coulisse ou glissière, à l'appareil de suspension de la sonde.

Cet outil est d'une construction facile; son poids dépend évidemment des dimensions de ses diverses pièces. Celui que nous avions à l'Hôpital pesait environ 2.000 kilog.

Bien qu'il ait donné des résultats satisfaisants dans les terrains d'une dureté moyenne, nous le faisons fabriquer aujourd'hui sur des dimensions presque doubles de celles qu'il avait autrefois, et nous obtenons généralement un effet à peu près en rapport avec son augmentation de poids.

Petit trépan massif (*fig.* 6, Pl. II). — Le petit trépan plein, dont il a été fait usage dans les terrains très-durs, est forgé d'une seule pièce, c'est-à-dire qu'il ne présente plus, comme l'ancien outil, les ajustements de la lame avec la fourche, et il est entièrement plein, ce qui lui donne un poids plus considérable.

Les dents sont assemblées sur cette masse de fer au moyen de clavettes; les tenons de ces dents ont été renforcés d'une manière toute spéciale; les encoches faites dans la pièce pour les recevoir sont coniques, de 0m,10 de

diamètre à la base et de 0m,09 au sommet, et la longueur de la queue est de 0m,10; nous trouvons même avantageux aujourd'hui de porter cette dernière dimension à 0m,14. Chacune de ces dents pèse de 30 à 32 kilogrammes, tandis que les anciennes, dont les tenons n'avaient guère que 0m,05 à 0m,06, ne pesaient que 15 kilogrammes.

Dans le trépan primitif, la partie supérieure de la tige centrale était filetée pour recevoir une grosse vis, qui s'emmanchait sur la glissière. Cette partie se détériorait rapidement et était très-difficile à réparer : en effet le filetage la déforçait beaucoup et il en résultait souvent des ruptures. D'ailleurs cette vis, faite en vue de permettre de séparer le trépan de la glissière pour les faire réparer isolément, n'atteignait pas son but; car, ou elle ne serrait plus au bout d'un certain temps de travail et il fallait alors la fixer avec une goupille, ou bien le serrage devenait trop grand par l'oxydation du fer et l'on ne parvenait plus à séparer les pièces, ce qui la rendait sans objet.

Nous avons remplacé ce mode d'assemblage du trépan à la glissière, par un emmanchement à clavettes, qui est très-simple : ce sont deux plateaux fixés invariablement à la tige du trépan et qui se substituent à la partie mâle de l'ancienne glissière de M. Kind; la coulisse proprement dite vient se placer par-dessus.

Nous insistons sur l'utilité de ce petit appendice, parce qu'il a présenté réellement une importance très-grande dans nos travaux de l'Hôpital; ce n'est qu'après l'avoir adopté que nous sommes parvenu à éviter les ruptures de la partie supérieure de la tige de l'outil.

Tel qu'il vient d'être décrit, le petit trépan plein, avec les dimensions que nous lui avons données, pèse environ 4.000 kilogrammes.

Trépan à fourche de 2m,50 avec deux lames étagées (fig. 7, pl. II).—Le trépan élargisseur qui a servi à forer au grand diamètre le puits nº 1 de l'Hôpital était formé, comme l'an-

cien petit trépan, d'une lame assemblée sur une fourche. A part ses dimensions, il lui était en tout semblable; il pesait un peu plus de 4.000 kilogrammes.

Afin de lui donner plus de poids, lorsque nous avons atteint des terrains durs, nous avons adapté à la fourche deux lames superposées et rendues solidaires par des frettes et des boulons; chacune de ces lames portait des dents, de manière à découper le terrain en deux banquettes formant escalier.

Cet outil improvisé, qui pesait 5.000 kilogrammes, n'était pas assez solidement construit pour travailler dans les conglomérats du grès rouge; mais nous verrons par la suite que le principe sur lequel il était construit a fait l'objet des nouvelles études de M. Kind et qu'il propose aujourd'hui l'application du trépan à lame inclinée, présentant, comme celui que nous venons de décrire, des dents étagées pour découper les terrains en petites banquettes.

Trépan plein de $2^m,50$ (*fig.* 8, Pl. II). — Ce trépan élargisseur est formé d'une seule pièce, de la même manière que le petit trépan massif; mais il a présenté des difficultés de construction bien plus grandes que ce dernier, à cause de ses dimensions considérables et de son poids. Il pèse 8.000 kilogrammes.

Nous avons aussi adapté à cet outil un guide en fer, qui est fixé à la lame par des tenons chevillés dans des encoches, comme les dents; ce guide pénètre dans le puits central et empêche l'outil élargisseur de dévier de la verticale.

Trépan à fourche de 4 mètres (*fig.* 9, Pl. II). — Le trépan à fourche pour les grands diamètres, quoique d'une forme semblable à celle des petits trépans, est d'une construction différente. On est obligé, à cause des dimensions, de le former de cinq pièces jointes ensemble par des assemblages à clavettes. C'est, d'une part, la lame porte-dents qui s'assemble sur trois bras, se réunissant eux-mêmes à

une tige centrale s'adaptant à l'appareil de suspension de la sonde.

De même que nous l'avions fait pour l'élargissement du puits n° 1 au diamètre de 2m,50, nous avons été obligés, pour élargir le puits n° 2 au diamètre de 4m,10, de superposer deux lames afin de renforcer l'outil. Toutefois une seule de ces lames portait la denture, de sorte que la seconde, placée au-dessus, ne produisait absolument qu'une augmentation de poids. Il est évident que cette manière d'opérer ne peut se justifier que comme expédient, et qu'il serait plus rationnel, le cas échéant, d'augmenter les dimensions de la lame et des bras du grand trépan primitif, de manière à lui donner un poids plus considérable, et surtout de renforcer les assemblages de ces différentes pièces, afin de les rendre capables de supporter les vibrations auxquelles l'outil doit résister pendant la marche du sondage.

Le trépan à fourche construit pour l'Hôpital ne pesait que 8.000 kilogrammes. Avec la double lame, nous avons porté son poids à 10.000 kilogrammes. Notre nouveau trépan de grand diamètre pèsera 14.000 kilogrammes; c'est celui qui est représenté *fig.* 9, Pl. II.

Il est conçu d'après le principe qui doit prévaloir dans la construction des trépans et qui consiste à augmenter autant que possible les dimensions des parties inférieures de l'outil.

Trépan massif assemblé sur une lame de 4 mètres (*fig.* 10, Pl. II). — M. Chastelain nous a proposé de remplacer le grand trépan à fourche par le trépan plein de 2m,50, auquel on assemblerait une lame de 4 mètres, plus ou moins, selon le diamètre auquel on veut forer. Cet outil ne pourrait jamais être aussi parfait, selon nous, que celui que l'on construirait spécialement avec les dimensions indiquées au paragraphe précédent. L'assemblage de la lame au trépan plein pourrait toutefois se faire assez convenablement au moyen de boulons et de frettes; mais il y a une partie de la

lame en porte-à-faux, qui ne résisterait peut-être pas au travail du forage, à moins que cette lame n'eût de très-fortes dimensions, auquel cas l'outil deviendrait d'un poids excessif.

Ce trépan composé pourrait toutefois recevoir son application dans certaines circonstances, et éviterait les frais d'un outil spécial pour chaque diamètre.

Nouveaux outils de M. Kind.

Nous ne pouvons pas terminer le chapitre de l'outillage sans signaler les nouveaux trépans pour lesquels M. Kind vient de se faire breveter, et qu'il a imaginés surtout en vue des travaux de fonçage à entreprendre ultérieurement dans les terrains vosgiens de la Moselle.

Lorsqu'on veut faire des grands puits de 4^{m},20 de diamètre dans des terrains très-durs, dit M. Kind, il est nécessaire de les forer en trois fois : on travaille d'abord avec un trépan de 0^{m},70 à 1 mètre de diamètre, puis on élargit le forage à 2^{m},50, et enfin on arrive avec le grand outil du diamètre définitif de 4^{m},20.

Dans les terrains tendres, dit-il, on fait le grand puits en deux fois, c'est-à-dire qu'après avoir foré avec un trépan de 1^{m},50 de diamètre, on élargirait au diamètre définitif avec le grand outil.

Ces principes ont déjà reçu leur application dans les travaux de l'Hôpital.

Petit trépan de 1 mètre (*fig.* 1, Pl. III). — La *fig.* 1, Pl. III, fait voir le petit trépan de 1 mètre proposé par M. Kind, pour le forage dans les terrains durs. Il est formé de deux pièces principales assemblées au moyen de quatre clavettes; ce sont le porte-dents et le corps du trépan proprement dit. Il y a aussi une lame à dents repasseuses, à 1^{m},50 au-dessus de la base, puis un guide fixe à la partie supérieure de l'outil. Celui-ci est soutenu par quatre mon-

tants en fer s'appuyant, d'une part sur la lame repasseuse, et d'autre part sur le corps du trépan.

Élargisseur de 2^{m},50 (*fig.* 2, Pl. III). — Le trépan de 2^{m},50, servant à faire le premier élargissement, a une forme toute différente de celle de l'autre : le porte-dents, au lieu de présenter une surface plane à sa base est disposé en escaliers, de manière à découper le terrain en plusieurs banquettes, ce qui donne au fond du puits une inclinaison vers le centre. Un guide fixé au porte-dents, au moyen de quatre boulons, entre dans le puits central préalablement foré, et force l'outil élargisseur à rester vertical.

Ainsi que nous l'avons dit précédemment, nous avions aussi adopté un guide semblable au trépan élargisseur de 2^{m},50 employé à l'Hôpital.

Trois bras verticaux sont assemblés, d'une part avec le porte-dents, et d'autre part avec une traverse double placée à la partie supérieure de l'outil ; enfin deux petites pièces en bois de chêne fixées sur les bras extérieurs et sur la traverse, servent à guider l'outil dans sa partie supérieure. Le bras du milieu est prolongé de manière à s'assembler au moyen d'un clavetage à un instrument dit à chute libre, qui est interposé entre le trépan et l'appareil de suspension de la sonde.

Trépan élargisseur de 4^{m},20 (*fig.* 3, Pl. III). — Enfin le trépan de 4^{m},20 se compose, de même que l'élargisseur de 2^{m},50, d'un porte-dents avec guides au-dessous, de trois bras verticaux et d'une double traverse au-dessus. A part ses dimensions, il lui est donc en tout semblable. Nous ferons remarquer que deux dents sont disposées de chaque côté de la lame, de manière à pousser les détritus vers le puits central, où se trouve déposée une cuiller de draguage destinée à les recevoir.

Autres trépans (*fig.* 4 et 5, Pl. III). — Lorsque l'on sonde dans les terrains tendres, dit M. Kind, on peut forer le puits central avec un petit trépan de 1^{m},50 de diamètre (*fig.* 4),

et élargir ensuite avec le grand trépan de 4 mètres, disposé à cette fin (*fig.* 5). Ces deux outils sont de même construction que ceux que nous avons décrits plus haut.

Instrument à chute libre. — Les nouveaux trépans de M. Kind sont construits pour travailler avec l'instrument dit à chute libre, qui remplace ici la glissière de nos anciens outils. La *fig.* 3 fait voir le détail de cet appareil dont le fonctionnement se fait, d'après l'auteur, de la manière suivante :

Lorsqu'on soulève la tige de sondage à laquelle l'instrument à chute libre est adapté, l'eau appuie sur le disque *d* et les porteurs *ee* sont serrés sous les tasseaux *bb*, ce qui permet d'enlever le trépan.

Dans le mouvement de descente, l'eau oppose une résistance au disque, les porteurs *ee* s'écartent par l'action des tiges *ff*, et le trépan retombe librement.

Quand on veut retirer le trépan hors du puits, les coins *gg*, qui remontent jusqu'aux tasseaux, permettent d'entraîner tout l'appareil de sondage.

Cuiller de draguage (*fig.* 6). — La cuiller employée pour recevoir les détritus lorsqu'on élargit le puits central, est de forme légèrement conique ; elle est armée de quatre bras formant parachute, qui, en s'écartant, pénètrent dans les parois du petit puits où on la descend. Pendant la marche du trépan, dit M. Kind, les parties de roche broyées ou cassées y tomberont naturellement, en glissant sur la surface inclinée formée par l'action de l'outil élargisseur. Les dents cassées y tomberont également et ne seront plus un obstacle à la marche du travail.

Nous n'oserions pas garantir que le succès de cette nouvelle cuiller de draguage répondra complétement aux espérances de M. Kind; mais nous recommandons d'en faire l'essai.

Le draguage des puits, lorsqu'on en fait l'élargissement, est toujours une opération très-longue, surtout lorsque les terrains se détachent par blocs et que l'on est obligé de

broyer ceux-ci pour curer avec la cuiller à soupape; ce serait donc un grand progrès que d'arriver à supprimer, ne fût-ce que partiellement, l'usage de cette dernière.

CHAPITRE II.

FORAGE DES PUITS DE L'HOPITAL.

Puits d'aérage. — Le forage du puits n° 1, dit d'aérage, a été mis en activité le 23 avril 1863; il n'a été terminé que le 28 août 1865.

La durée de ce travail a dépassé sensiblement nos prévisions, à cause des difficultés imprévues que l'on a rencontrées dans son exécution et des chômages fréquents qui en ont été la conséquence.

Première période. — Un puits préparatoire avait été creusé, par les moyens ordinaires, jusqu'à la profondeur de $21^m,40$, c'est-à-dire un peu au-dessous de la tête du terrain aquifère. Le travail à niveau plein n'a donc commencé qu'à cette profondeur.

Le forage a été fait en deux fois; un puits central de $1^m,37$ précédait toujours le puits définitif creusé sur un diamètre de $2^m,50$.

Le travail s'est fait avec la plus grande facilité dans les parties supérieures du grès des Vosges; ce terrain se laisse bien attaquer par la sonde; c'est du sable agglutiné qui se désagrége lorsqu'on travaille en épuisant les eaux, mais qui est très-compacte et dur à niveau plein.

Le curage, c'est-à-dire l'enlèvement des détritus, s'y opère moins facilement que dans les terrains argileux, parce que le sable, par sa pesanteur spécifique, se précipite toujours au fond du puits central au lieu de rester en suspension dans l'eau; mais c'est là une difficulté de détail qui n'a pas présenté une influence sérieuse sur l'avancement du forage.

Pendant cette première période du travail, nous avons employé avec succès les trépans à fourche dont il avait été fait usage précédemment en Belgique, à Saint-Vaast, à Péronne et à Ressaix, là où nous avions percé déjà des roches dures et notamment les *rabots* (silex) qui forment la base du terrain crétacé.

Après neuf mois de travail, le forage central du puits nº 1 était arrivé à la profondeur de 122 mètres, et l'élargissement à 85 mètres. On avait donc fait 164 mètres, soit une moyenne de 18 mètres par mois, y compris les jours de chômage qui sont toujours nombreux au début des travaux.

Il y avait lieu d'être satisfait d'un pareil avancement; mais les grandes difficultés restaient encore à vaincre.

Deuxième période.—Confiants dans le résultat des forages exécutés à Stiring par M. Kind, avec des outils de sondage moins forts que les nôtres, nous avions espéré pouvoir attaquer facilement tous les terrains de la Moselle; mais, il faut le reconnaître, ces outils étaient insuffisants.

Les assises inférieures du grès vosgien, et surtout les conglomérats du nouveau grès rouge qui forment la transition entre le grès des Vosges et le grès rouge proprement dit, sont d'une dureté excessive, et notre avancement dans ces terrains était devenu si minime qu'il fallait nécessairement se créer d'autres moyens d'action pour parvenir à les traverser.

Il est donc vraisemblable que l'on n'a pas rencontré les conglomérats dans les forages de Stiring; car il nous paraît certain que les trépans alors employés n'étaient pas assez forts pour broyer des roches aussi dures. Il est possible d'ailleurs que la nature des grès rouges ne soit pas la même sur tous les points, et qu'ils se soient présentés à Stiring plus argileux et plus tendres qu'à l'Hôpital.

Quoi qu'il en soit, après de nouvelles études, nous avons fait fabriquer le trépan massif de 1m,37 de diamètre, dont

on a donné la description au chapitre précédent. C'est à l'aide de cet outil que l'on est parvenu à forer le grès rouge avec un plein succès, et à porter enfin le puits central à la profondeur de 165 mètres.

Le trépan plein, de petit diamètre, avait présenté de grandes difficultés de construction, à cause de ses dimensions et de son poids considérables. Malgré la certitude que nous avions acquise qu'un outil semblable serait nécessaire pour élargir le puits à 2m,50 de diamètre, dans les conglomérats, nous hésitions à faire fabriquer cet appareil, d'autant plus que les maîtres des forges à qui nous nous sommes adressé d'abord ne croyaient pas pouvoir en garantir la bonne exécution.

Cette hésitation nous a fait perdre beaucoup de temps; car on a été obligé de forer l'élargissement du puits jusqu'à la profondeur de 138 mètres, au moyen du trépan à fourche, et il est arrivé beaucoup d'accidents pendant cette période de travail, outre que l'avancement était extrêmement faible, même lorsque le sondage marchait régulièrement.

Pour suppléer à l'absence d'un trépan plein de 2m,50, il nous vint alors l'idée de renforcer l'ancien outil, en adoptant une lame supplémentaire qui permît de découper le terrain en deux banquettes formant escalier (*fig.* 7, Pl. II).

On ne fut pas longtemps à reconnaître que c'était là un appareil trop incomplet pour assurer le succès du travail, et il fut décidé que l'on donnerait suite au projet primitif, en faisant exécuter le trépan plein, de 2m,50 de diamètre, avec lequel nous sommes enfin arrivés à la profondeur de 159 mètres, là où nous avons posé le cuvelage.

En résumé, nous devons constater que la seconde période de travail du puits n° 1 a été marquée par des chômages fréquents, provenant de l'insuffisance de l'outillage; il n'est pas douteux que la traversée des grès rouges eût été faite presque sans difficulté, si nous avions eu à notre disposi-

tion, dès le début, le trépan massif servant à l'élargissement.

Nous consignerons, dans le tableau A ci-après, un résumé de la marche du double forage du puits n° 1. On pourra se rendre compte, par les détails qu'il contient, des jours de chômage auxquels nous avons été astreints et de l'effet utile obtenu par l'emploi des divers outils.

Le travail a duré vingt-huit mois; l'avancement mensuel, qui avait atteint d'abord 18 mètres en moyenne, a été beaucoup moindre dans la seconde période du forage.

Nous croyons inutile d'analyser longuement les divers incidents qui se sont présentés dans le cours du travail; nous préférons reporter ces détails dans une note particulière intitulée le *Journal des travaux*, que les hommes spéciaux consulteront avec utilité.

TABLEAU A. Puits n° 1

	PÉRIODES DE TRAVAIL.	JOURS DE		FORAGE du puits central, 1,37. Avancement				PROFONDEUR atteinte.	
		travail.	chômage.	journalier.		total.			
				mètr.	cent.	mètr.	cent.	mètr.	cent.
1	1863. 23 avril au 4 août.	89	16	0	79	70	70	92	10
2	— 5 août au 15 septembre. . . .	39	3	»	»	»	»	»	»
3	— 16 septembre au 4 octobre. .	15	4	0	43	6	38	98	48
4	— 5 octobre au 26 octobre. . .	22	0	»	»	»	»	»	»
5	— 27 octobre au 27 novembre. .	30 1/2	1 1/2	0	52	15	84	114	32
6	— 28 novembre au 4 décembre.	1	6	»	»	»	»	»	»
7	— 5 décembre au 1er janvier. .	27	1	0	28	7	45	121	77
8	1864. 2 janvier au 7 janvier. . . .	6	0	»	»	»	»	»	»
9	— 8 janvier au 23 février. . . .	47	0	0	23	10	73	132	50
10	— 24 février au 26 février. . . .	3	0	0	»	»	»	»	»
11	— 27 février au 28 avril.	50	12	0	16	8	05	140	55
12	— 29 avril au 17 mai.	18	1	»	24	4	25	144	80
13	— 18 mai au 1er juillet.	35 1/2	9 1/2	0	10	3	22	148	02
14	— 2 juillet au 12 septembre.. .	68	5	»	»	»	»	»	»
15	— 13 septembre au 13 octobre. .	30	1	0	53	15	83	163	85
16	— 14 octobre au 19 janvier. . . .	74 1/2	23 1/2	»	»	»	»	»	»
17	1865. 20 janvier au 23 janvier.. . .	4	0	»	32	1	27	165	12
18	— 24 janvier au 13 juin.	68	74	»	»	»	»	»	»
19	— 14 juin au 17 août.	28	37	»	»	»	»	»	»
20	— 18 août au 28 août.	11	0	»	»	»	»	»	»
	Durée du travail : 28 mois.	666 1/2	193 1/2	0	42	143	72	en 136 jours.	

(dit d'aérage).

Élargissement au diamètre de 2,50. — Avancement journalier. mètr.	cent.	Avancement total. mètr.	cent.	Profondeur atteinte. mètr.	cent.	Outils employés.	Observations.
»	»	»	»	»	»	Petit trépan à fourche. . n° 1	
1	16	42	95	64	35	Grand trépan à fourche.. n° 4	
»	»	»	»	»	»	Id. . . . . n° 1	
0	72	15	85	80	20	Id. . . . . n° 4	
»	»	»	»	»	»	Id. . . . . n° 1	
0	70	0	78	80	90	Id. . . . . n° 4	
»	»	»	»	»	»	Id. . . . . n° 1	
0	63	3	76	84	66	Id. . . . . n° 4	
»	»	»	»	»	»	Id. . . . . n° 1	
0	50	1	48	86	14	Id. . . . . n° 4	
»	»	»	»	»	»	Nouveau trépan à fourche n° 2	
»	»	»	»	»	»	Trépan plein. . . . . n° 3	
»	»	»	»	»	»	Trépan. . . . . n° 2	
0	60	39	19	125	33	Id. . . . . n° 4	
»	»	»	»	»	»	Id. . . . . n° 3	Seize jours de chômage employés à nettoyer le puits central.
0	18	13	28	137	95	Id. . . . . n° 4	
»	»	»	»	»	»	Id. . . . . n° 3	
0	11	7	53	145	46	Trépan à deux lames. . . n° 5	Voir le journal de sondage.
0	34	9	55	155	35	Grand trépan plein. . . . n° 6	Id.
0	24	2	65	156	08	Trépan à fourche. . . . . n° 4	Pour réduire le diamètre.
0	42	136	60	en 328 jours.			

Puits n° 2. — Les difficultés rencontrées au puits d'aérage nous ont servi d'enseignement pour les travaux du puits de 4 mètres de diamètre; ces derniers ont marché avec beaucoup de régularité et de rapidité.

Commencé le 9 juin 1864, le forage de ce puits était terminé le 21 novembre 1866, soit en moins de deux ans et demi, et cependant l'élargissement au grand diamètre, dans les conglomérats de grès rouge, s'est fait dans de très-mauvaises conditions, avec une partie de notre ancien outillage.

Première période. — Le forage du grès des Vosges a présenté peu d'accidents, et l'on peut dire que la plupart de ceux qui sont arrivés provenaient de ce que le grand trépan élargisseur de 4 mètres présentait les défectuosités signalées précédemment, et notamment la vis d'assemblage de la tige à la glissière, qui est remplacée maintenant par un plateau à clavettes.

En quatorze mois, du 9 juin 1864 au 20 août 1865, nous avions foré le puits central jusqu'à la profondeur de 148 mètres, et élargi jusqu'à 120 mètres au diamètre définitif de $4^m,10$, ce qui représente une moyenne d'avancement de 16 mètres par mois; et il est à remarquer que le puits central avait déjà traversé les terrains les plus durs.

Deuxième période. — Nous étions parvenus jusqu'ici à forer assez facilement les grès rouges avec nos trépans pleins, aux diamètres de $1^m,37$ et de $2^m,50$; mais il restait une grande question à résoudre : parviendrait-on à traverser ces terrains avec une sonde ordinaire de 4 mètres de diamètre?

C'est ce qui paraissait douteux, surtout si l'on devait suivre la marche ordinaire du travail, consistant à élargir le puits central au diamètre définitif, en une seule fois.

Il était impossible de songer à faire fabriquer des trépans pleins d'un diamètre de 4 mètres; d'ailleurs notre outillage était prêt depuis longtemps, et il fallait chercher à l'utiliser.

Pour vaincre la difficulté qui se présentait, nous avons résolu de forer le grand puits en trois passes.

On a fait un puits central de 1^m,37, que l'on a élargi d'abord à 2^m,50 et que l'on a porté ensuite, par un second élargissement, au diamètre définitif de 4 mètres.

On s'est servi des trépans pleins pour le petit puits et pour le diamètre intermédiaire; il ne restait donc plus à enlever, par le grand outil, qu'une surface annulaire d'environ 0^m,75 de largeur.

Le forage a marché avec beaucoup de régularité pour le puits central et pour le premier élargissement; le trépan plein de 2^m,50 a traversé les conglomérats avec un avancement moyen de 0^m,38 par jour, ce qui était très-satisfaisant.

Mais l'élargissement au diamètre de 4 mètres, avec notre ancien trépan à fourche, a donné lieu à des accidents fréquents et des lenteurs que l'on pourrait éviter si l'on recommençait de semblables travaux. Ainsi que nous l'avons déjà dit, le grand trépan à fourche avait été construit sur le modèle de ceux adoptés précédemment par M. Kind; nous avions même augmenté de beaucoup les dimensions de la lame, des bras et des tenons d'attache des dents; mais ce trépan était encore trop faible pour agir avec un grand succès, dans les grès rouges.

Pour lui donner plus de poids, nous avions superposé deux lames en les fixant solidement ensemble.

C'est à l'aide de ce trépan à double lame, auquel on avait adapté des dents en acier fondu, que nous sommes parvenu, assez péniblement il est vrai, mais sans grands accidents, à élargir le puits n° 2 au diamètre définitif jusqu'à la profondeur de 159 mètres, où se trouve la base du cuvelage.

Nous résumons dans le tableau B, ci-dessous, le résultat des diverses périodes du forage.

En terminant ce chapitre, nous dirons que l'on ne sau-

rait trop recommander, dans le travail de forage des puits, de s'attacher à la qualité des matériaux dont on fait usage pour la confection du matériel; car, si l'opération du sondage est extrêmement simple par elle-même, les bris d'outils la rendent souvent difficile et coûteuse.

La plupart des pièces composant notre outillage de l'Hôpital ont été fabriquées par la maison Poynot et Cie d'Anzin; elle nous a fourni notamment nos trépans massifs, qui sont très-remarquables comme difficulté d'exécution.

TABLEAU B.

PUITS N° 2 DE L'HOPITAL

(DIT D'EXTRACTION).

TABLEAU B. **Puits n° 3 de l'Hôpital**

	PÉRIODES DE TRAVAIL.	JOURS de travail.	JOURS de chômage	FORAGE du puits central, $1^m,57$. Avancement par jour. mèt.	Avancement par jour. cent.	Avancement total. mèt.	Avancement total. cent.	Profondeur atteinte. mèt.	Profondeur atteinte. cent.
1	1864. 9 juin au 7 septembre......	90	1	0	83	74	35	95	55
2	— 8 septembre au 10 janvier....	121	4	»	»	»		»	
3	1865. 11 janvier au 19 janvier.....	9	0	0	89	7	97	103	32
4	— 20 janvier au 26 janvier.....	6	0	0	54	3	26	106	58
5	— 27 janvier au 3 mars.......	36	0	0	69	24	60	131	18
6	— 4 mars au 7 avril..........	35	0	0	30	10	02	141	20
7	— 8 avril au 11 mai.........	32	2	»	»	»		»	
8	— 12 mai au 21 juillet........	63 1/2	7 1/2	»	»	»		»	
9	— 22 juillet au 26 juillet.......	5	0	0	26	1	30	142	50
10	— 27 juillet au 21 août........	23	3	»	»	»		»	
11	— 22 août au 6 septembre......	16	0	0	35	5	53	148	03
12	— 7 septembre au 18 septembre..	6	6	»		»		»	
13	— 19 septembre au 5 octobre....	17	0	»		»		»	
14	— 6 octobre au 14 novembre....	35 1/2	4 1/2	»		»		»	
15	— 15 novembre au 31 novembre..	37	10	»		»		»	
16	1866. 17 janvier au 19 janvier......	3	16	»		»		»	
17	— 21 janvier au 29 janvier......	9	0	»		»		»	
18	— 30 janvier au 12 mars.......	42	0	0	54	22	82	170	85
19	— 13 mars au 4 avril.........	22	1	»		»		»	
20	— 5 avril au 27 avril.........	23	0	»		»		»	
21	— 28 avril au 4 juillet........	67	1	»		»		»	
22	— 5 juillet au 15 juillet.......	11	0	»		»		»	
23	— 16 juillet au 10 août........	26	0	»		»		»	
24	— 11 août au 15 septembre.....	27	9	»		»		»	
25	— 16 septembre au 21 novembre...	52	15	»		»		»	
	Durée du travail : 29 mois 12 jours.	814	30	0	63	149	85	en 239 jours.	

(dit d'extraction).

ÉLARGISSEMENT au diamètre de 2m,50. Avancement par jour		total		Profondeur atteinte		ÉLARGISSEMENT à 4m,10. Avancement par jour		total		Profondeur atteinte		OBSERVATIONS.
mèt.	cent.	mèt.	cent.	mèt.	cent.	mèt.	cent.	mèt.	cent.	mèt.	cent.	
»		»				»		»	»	»	»	
»		»				0	52	62	81	83	81	
»		»				»	»	»	»	»	»	
»		»				»	»	»	»	»	»	Avec le petit trépan à fourche.
»		»				»	»	»	»	»	»	On atteint le grès rouge.
»		»				»	»	»	»	»	»	
»		»				0	45	14	30	98	11	Avec le grand trépan à deux lames.
»		»				0	26	16	98	115	09	On supprime l'une des lames à cause de la rupture de l'engrenage du cabestan.
»		»				»	»	»	»	»	»	
»		»				0	23	5	29	120	38	
»		»				»		»	»	»		
»		»				0	12	0	70	121	08	
0	60	10	27	131	35	»		»		»		On atteint le grès rouge.
0	26	9	31	140	66	»		»		»		
»	»	»				0	26	9	62	130	70	Chômage utilisé pour nettoyer le puits central.
»	»	»				0	16	0	49	131	19	On atteint le grès rouge.
»	»	»				0	10	0	86	132	05	
»	»	»				»	»	»		»		
»	»	»				0	11	2	54	134	59	Une nouvelle tige a été placée au grand trépan.
0	36	8	23	148	89	»		»		»		
»	»	»		»		0	14	9	16	143	75	
0	39	4	27	153	16	»		»		»		
»		»		»		0	17	4	51	148	26	
0	40	10	92	164	08	»	»	»		»		Chômage utilisé en partie pour curer.
»		»		»		0	21	11	02	159	28	
0	38	43	00	en 113 1/2 jours		0	30	138	28	en 461 1/2 jours		

CHAPITRE III.

CUVELAGE DES PUITS DE L'HOPITAL.

L'établissement des cuvelages, qui est le travail le plus compliqué et nous dirons même le plus chanceux, lorsque le fonçage des puits se fait par les anciens procédés, ne présente pour nous aucune difficulté sérieuse. Le succès de notre opération dépend essentiellement de la bonne exécution des pièces de cuvelage, dont il est facile d'ailleurs de se rendre compte par les essais auxquelles elles sont soumises préalablement à leur emploi.

Les inconvénients que présentent sous ce rapport les cuvelages ordinaires, soit en bois, soit en fonte, par pièces rapportées formant polygone, résultent de l'impossibilité de s'assurer d'une manière absolue de la résistance que présenteront les segments lorsqu'ils seront mis en place; le travail peut être compromis s'il y a des défauts cachés dans les pièces, ou bien si on ne les assemble pas convenablement au fond du puits; la pose des trousses à picoter demande aussi beaucoup de soin; enfin, il faut bien le reconnaître, ce n'est que par une longue expérience que l'on parvient à former des ouvriers (passeurs de niveaux) pour ce travail spécial, et l'on est obligé de les payer fort cher.

Dans notre procédé, au contraire, l'ouvrier n'est plus qu'un simple manœuvre, et la perfection du travail est assurée par la surveillance qu'exerce au jour l'ingénieur dirigeant.

Fabrication des cuvelages.

Les cylindres dont nous composons les cuvelages doivent être coulés en seconde fusion, en fonte de première qualité, grise à grain fin et homogène, sans soufflure, grave-

lure, goutte froide ni retassement, et enfin se laissant bien raboter.

Les deux collets ou brides d'assemblage de chaque pièce sont tournés suivant des plans perpendiculaires à l'axe du cylindre, de manière à présenter des surfaces rigoureusement parallèles, afin que les tronçons puissent s'ajuster parfaitement les uns sur les autres et former, par leur superposition, une colonne tout à fait verticale.

Il est important de veiller à ce que les surfaces tournées ne présentent aucune défectuosité. L'épaisseur de la partie cylindrique des tronçons doit être uniforme; nous n'acceptons à cet égard qu'un écart maximum de 2 millimètres en plus ou en moins.

Chacun des collets d'assemblage est percé de trous de boulons qui doivent être régulièrement placés au milieu de la saillie, et à une égale distance de centre en centre; il y a obligation, pour forer ces trous, de présenter l'une sur l'autre les pièces qui doivent se superposer.

Les diverses pièces ne sont reçues qu'après avoir subi une pression d'épreuve double au moins de celle qu'elles doivent supporter lorsqu'elles seront placées dans le puits.

L'épaisseur générale de la partie cylindrique des cuvelages varie avec la pression à supporter; elle est donc la plus forte à la base de la colonne, et elle diminue progressivement à mesure qu'on se rapproche de la partie supérieure du revêtement.

Nous appliquons au calcul de l'épaisseur des pièces la formule que nous avons fait connaître dans notre premier mémoire (*), bien que plusieurs ingénieurs trouvent qu'elle donne des dimensions exagérées. On pourrait sans doute

(*) $E = 0.02 + \frac{R.P.}{500}$.

E représente l'épaisseur du cuvelage,

R représente le rayon et P la pression exprimée en kilogrammes par centimètre carré.

les réduire, si l'on avait une garantie qu'il serait fait usage d'excellente fonte dans la fabrication; mais nous n'oserions pas conseiller de fortes réductions, car l'économie que l'on obtiendra sous ce rapport sera toujours assez minime eu égard au coût de l'ensemble des travaux.

Ce que nous admettons parfaitement, c'est de diminuer, avec la profondeur, la valeur de la constante $0^m,02$ qui se trouve dans la formule, et qui a surtout pour but de maintenir un minimum d'épaisseur pour la partie supérieure du cuvelage.

Nous constaterons volontiers aussi que la résistance des cylindres à l'écrasement est très-considérable, et nous en avons eu la preuve en plusieurs circonstances. Nous citerons notamment l'expérience faite à l'usine de Fourchambault sur un tronçon du cuvelage n° 1 de l'Hôpital. Cette pièce avait 25 millimètres d'épaisseur et devait être placée dans la série supérieure; soumise à une pression extérieure de 37 atmosphères, elle a résisté parfaitement, tandis que la cuve d'essai, qui avait une épaisseur de 65 millimètres, outre des nervures supplémentaires, s'est brisée par la pression intérieure.

En résumé, nous croyons pouvoir garantir que, moyennant une application rigoureuse des conditions que nous venons d'indiquer, il n'y a aucune crainte à concevoir sur la résistance et la bonne exécution des cuvelages en fonte à établir par le procédé à niveau plein.

La plupart des fondeurs s'exagèrent les difficultés de la fabrication; mais il arrive toujours qu'après avoir fait les premières pièces ils reconnaissent que le travail est assez simple.

Une difficulté relative pour la fonderie, c'est d'arriver à couler, sans défaut, les deux brides d'assemblage des tronçons; celle du dessous du moule est toujours parfaitement saine, mais l'autre présente souvent des piqûres, les impuretés de la fonte venant se réunir dans la partie supérieure

du moule. On est parvenu à un bon résultat en faisant une fausse volée, ce qui n'augmente pas sensiblement la dépense. Le moulage en châssis est plus expéditif et plus parfait que le moulage en terre, et l'on ne doit pas reculer devant la dépense supplémentaire d'installation qu'il nécessite, surtout lorsqu'il s'agit d'exécuter un revêtement d'une certaine importance comme poids.

Descente des cuvelages.

La descente du cuvelage est une opération très-simple; elle s'est faite, pour les deux puits de l'Hôpital, sans la moindre difficulté.

On assemble d'abord le cylindre de la boîte à mousse et les trois premiers tronçons; on adapte le fond d'équilibre et le cercle d'attache des tiges de suspension; puis, au moyen de ces dernières, on descend tout le système jusque sur l'eau (*fig.* 7, Pl. III). Dès ce moment le cuvelage commence à nager par la contre-pression exercée sur le faux fond, et l'on règle à volonté, à mesure que l'on superpose tous les tronçons sur la colonne, le poids qu'il est utile de laisser sur les tiges pour que la descente se fasse bien verticalement.

Le point important est d'assurer l'efficacité des joints d'assemblage des tronçons, et cela n'est pas difficile avec des pièces préparées de la manière dont nous l'avons indiqué. Une lamelle de plomb interposée entre les deux brides est serrée fortement par le boulonnage, puis rematée avec soin en dedans et en dehors. Les joints étant ainsi faits, le cuvelage est parfaitement étanche sur toute sa hauteur, et l'opération de la descente ne donne lieu à aucune difficulté.

Nous renverrons pour tous les détails relatifs à l'application de notre système de cuvelage, au mémoire publié sur les travaux de Belgique; nous nous bornerons à donner ici

quelques renseignements sur la composition spéciale des puits de l'Hôpital.

Puits n° 1. — Le projet de cuvelage du puits n° 1 comprenait 80 tronçons de 2 mètres de hauteur et de 1^{m},80 de diamètre à l'intérieur des brides d'assemblage.

L'épaisseur générale de la partie cylindrique était fixée comme suit : 0^{m},046 pour les dix tronçons de la partie inférieure, c'est-à-dire les vingt premiers mètres ; 0^{m},043 pour les dix pièces suivantes ; puis successivement 0^{m},040, 0^{m},037, 0^{m},034, 0^{m},031, 0^{m},028, 0^{m},025.

Le tout devait donc former une colonne de 160 mètres de hauteur. Nous avons eu l'occasion de signaler précédemment la circonstance qui a fait reconnaître l'inutilité de porter la base du cuvelage au delà de 159 mètres de profondeur, ce qui correspond à 142 mètres au-dessous de la tête du niveau. La dernière série de cylindres a donc été contremandée, lorsque la fabrication était déjà en pleine activité.

Il en est résulté un léger surcroît d'épaisseur dans l'ensemble des tronçons, puisque l'on a été obligé de supprimer les pièces qui devaient se placer dans la partie supérieure du revêtement.

Chacun des cylindres qui composent le cuvelage du puits n° 1 présente, à l'intérieur, deux rebords ou collets d'assemblage de 0^{m},03 d'épaisseur, faisant saillie de 0^{m},07 ; en outre, il y a deux petites nervures de 0^{m},04 de hauteur et de 0^{m},025 de saillie, qui sont également espacées dans l'intervalle entre les collets.

On sait que, extérieurement, ces cylindres présentent une surface unie. Les brides d'assemblage sont percées de vingt-huit trous de boulons de 0^{m},03 de diamètre, espacés de centre en centre de 0^{m},21.

Les tronçons de la partie inférieure du cuvelage ont un poids de 4.450 kilogrammes, en moyenne ; il diminue ensuite de série en série jusqu'à 2.800 kilogrammes, poids des pièces supérieures.

Le cuvelage tout entier pèse 258.000 kilogrammes, y compris les boulons d'assemblage.

Le cylindre de la boîte à mousse avait été coulé sans rebord à sa partie inférieure; on y a fixé une trousse en bois de chêne, pour former la base. La largeur de la boîte est de $0^m,175$ et sa hauteur de $1^m,60$; elle avait donc une section de $1^{m^2},140$ et une capacité de $1^{m^3},824$; la pression exercée par le poids du cuvelage pour comprimer la mousse était de $22^k,6$ par centimètre carré. Le matelas n'avait plus, après le serrage, que $0^m,25$, soit le sixième du volume primitif, et il est à remarquer que la mousse avait déjà été très-fortement tassée lors de la confection de la boîte.

Le fond d'équilibre (en fonte) ayant la forme d'une calotte sphérique, a été composé de deux pièces se juxtaposant suivant un joint vertical, ce qui a permis de le démonter facilement lorsqu'on a épuisé l'eau. La colonne centrale fixée sur le fond, n'avait que $0^m,13$ de diamètre et était également en fonte.

Le but de ce tube central, qui fait partie de notre *appareil* d'équilibre, est de donner accès à la partie inférieure du puits et de permettre de faire entrer l'eau dans le cuvelage à mesure qu'on le fait descendre.

Si l'on n'avait en vue que ce dernier résultat, on pourrait fermer complétement le fond, et faire entrer l'eau dans le cuvelage au moyen de trous à percer dans celui-ci.

Mais, outre que cela ne serait pas sans inconvénient, ces trous n'atteindraient pas complétement le but; car il est important de savoir, lorsqu'on épuise l'eau après le bétonnage fait, si la base du cuvelage est étanche. D'un autre côté, en mettant cette colonne centrale, nous voulons nous réserver le moyen d'introduire un grappin ou tout autre appareil spécial de draguage, pour nettoyer le fond du puits, avant d'y laisser asseoir le cuvelage; et cela deviendrait indispensable s'il se produisait des éboulements pendant le temps plus ou moins long qu'exige la descente.

Nous n'avions pas à craindre cet accident dans les terrains durs de l'Hôpital; et c'est pour ce motif que, par économie, nous y avons employé une colonne d'équilibre de diamètre réduit.

Le cuvelage du puits n° 1 a été livré par l'usine de Fourchambault; la fabrication des pièces ne laissait rien à désirer. Elles ont toutes été pressées extérieurement, savoir : celles de la première série à 32 atmosphères; celles de la seconde à 28 atmosphères, puis successivement pour les autres séries à 24, 20, 16, 12, 8 et 4 atmosphères.

Cette opération se fait, ainsi que nous l'avons décrit, en plongeant le cuvelage dans une cuve d'un diamètre un peu plus grand que le sien : l'espace entre les deux cylindres étant fermé par un plateau, on y comprime l'eau et l'on met ainsi la pièce de cuvelage dans des conditions identiques à celles où elle se trouvera dans le puits.

Les essais se sont faits à la mine, pour les pièces du n° 1. Cette opération ne présente aucune difficulté, lorsque les ouvriers ont acquis, au bout de quelques jours, la pratique nécessaire pour bien faire les joints.

Puits n° 2. — Le cuvelage du puits n° 2 est formé de 94 tronçons cylindriques de $3^{m},40$ de diamètre minimum aux brides d'assemblage; la hauteur de la première pièce est de $1^{m},75$ et celle des autres de $1^{m},50$. Les brides ont $0^{m},04$ d'épaisseur et $0^{m},08$ de saillie à l'intérieur du cylindre. Entre les rebords, il y a deux petits collets ayant $0^{m},04$ centimètres de hauteur et $0^{m},04$ de saillie, qui sont également espacés.

L'épaisseur générale de la partie cylindrique est de 60 millimètres pour les quatorze tronçons de la partie inférieure du cuvelage, de 56 millimètres pour les dix pièces suivantes, puis successivement de 52, 48, 44, 40, 36, 32 et 28 millimètres pour chacune des séries de dix pièces qui viennent à la suite.

Les collets d'assemblage sont percés de cinquante trous

de boulons de $0^m,03$ de diamètre et régulièrement placés au milieu de la saillie de $0^m,08$; leur distance de centre en centre est donc de $0^m,22$.

Afin de supprimer le sabot en bois que l'on fixait à la base de la boîte à mousse, nous avons fait le cylindre spécial avec un rebord extérieur en fonte remplaçant ledit sabot, ce qui donne plus de solidité (*fig.* 10, Pl. II) ; cet appendice n'a présenté aucune difficulté à la coulée.

Ainsi que nous l'avons dit ci-dessus, la hauteur du premier tronçon du cuvelage est de $1^m,75$; il en est de même du cylindre de la boîte à mousse, de telle sorte que le matelas avait, au moment de la descente de la colonne, $1^m,54$ de hauteur et $0^m,17$ de largeur, soit $1^m,97$ de section et 3 mètres cubes de capacité. D'après les constatations faites jusqu'ici, il y a lieu de penser que ce matelas de mousse est réduit à $0^m,15$ de hauteur, soit au dixième de son volume primitif. D'après le poids du cuvelage que nous indiquerons ci-après, la charge par centimètre carré était de 32 kilogrammes.

Le fond d'équilibre pour le cuvelage du puits n° 2, a été formé d'une calotte sphérique en une seule pièce, dont le diamètre maximum sur le rebord est de $3^m,36$, ce qui lui permet de passer dans le cuvelage. Un cercle supplémentaire assemblé, d'une part, aux brides dudit cuvelage et, d'autre part, à la calotte, complète le faux fond. Cette disposition est très-favorable pour le montage et le démontage de cet appareil. (Voir Pl. III, *fig.* 7.)

Nous avons employé la même colonne d'équilibre que pour le puits n° 1.

Le projet comportait une disposition spéciale pour les cylindres placés au-dessus de la boîte à mousse (n°s 2 et 3) : l'une des petites nervures qui se trouvent entre les brides d'assemblage devait être coulée sur une épaisseur de $0^m,08$ avec la même largeur que lesdites brides, soit aussi $0^m,08$. Ces collets supplémentaires étaient destinés à recevoir l'un

(pièce n° 2) le faux fond et l'autre (pièce n° 3) le cercle d'attache des tiges de suspensions.

Des motifs particuliers au fondeur ont empêché de réaliser ce projet. Il sera utile à l'avenir de se réserver le moyen d'avoir toujours ces nouveaux collets, afin que l'assemblage du faux fond et du cercle de suspension soit indépendant des brides qui forment les joints du revêtement.

Les diverses pièces composant le cuvelage du puits n° 2, ont été fabriquées à Hayange, dans l'usine de M. de Wendel, où l'on avait fait une très-belle installation pour ce travail.

Le moulage en châssis y était organisé avec un soin tout particulier, et l'on était arrivé avec deux fosses à pouvoir faire à peu près une pièce chaque jour. Un tour spécial et une machine à percer les trous des collets étaient montés dans la fonderie même, de telle sorte que les tronçons en sortaient complétement achevés.

Les cylindres ont été essayés à la pression de 28 atmosphères pour les plus forts, de 24 atmosphères pour la seconde série; puis successivement de 21, 18, 15, 12, 9, 6 et 3 atmosphères pour les pièces des séries suivantes.

Voici le poids détaillé des différentes pièces :

				kilogrammes.
1re	série,	15	pièces de.	8.300
2e	—	10	—	7.850
3e	—	10	—	7.400
4e	—	10	—	6.950
5e	—	10	—	6.500
6e	—	10	—	6.050
7e	—	10	—	5.600
8e	—	10	—	5.150
9e	—	10	—	4.700
			Moyenne. . . .	6.600

Soit environ 4400 kilog. par mètre de hauteur.

Les pièces spéciales : le cylindre de la boîte à mousse,

le tronçon n° 1 et le faux fond pèsent respectivement 8.905, 9.780 et 5.380 kilogrammes.

Enfin, l'ensemble de la colonne métallique a un poids total d'environ 635.000 kilogrammes, avec les boulons d'assemblage et les accessoires.

CHAPITRE IV.

BÉTONNAGE DES PUITS DE L'HOPITAL.

Ainsi que nous l'avons vu au chapitre précédent, la colonne métallique formant le cuvelage peut être rendue parfaitement étanche, sur toute sa hauteur, par les soins que l'on apporte à faire les joints des tronçons dont elle se compose.

La boîte à mousse placée à la partie inférieure de cette colonne vient se poser dans les terrains imperméables, et, si elle est bien conditionnée, son matelas de mousse en se comprimant doit former une digue qui intercepte toute communication entre les terrains aquifères et le puits en fonçage.

Les résultats auxquels nous sommes arrivés dans nos différents travaux, nous donnent une confiance très-grande dans le succès de cet appareil.

Mais il ne suffit pas d'être isolé momentanément; il faut encore assurer l'imperméabilité permanente sur tous les points, et c'est là le but du bétonnage que l'on exécute sur la hauteur du cuvelage dans l'espace resté libre entre le terrain et les parois du revêtement.

Il est surtout essentiel de bétonner avec soin les premiers mètres au-dessus de la boîte à mousse, afin de donner à cette dernière toute la consistance nécessaire pour lui assurer une durée illimitée. Le bétonnage seul serait insuffisant, parce que le mortier se répandrait dans le puits en passant sous la base du cuvelage et formerait une

masse spongieuse incapable d'arrêter la venue d'eau ; mais en se concentrant sur la mousse qui lui intercepte tout passage, le béton s'imprègne légèrement dans cette dernière, puis il forme au-dessus une digue qui résiste à la pression de la colonne d'eau.

Partant de cette manière de voir, nous pensons donc que, plus la hauteur des terrains à niveaux sera grande, plus il est importera de bien soigner le bétonnage de la partie inférieure du puits.

D'ailleurs cette opération du bétonnage n'occasionne qu'une dépense relativement faible, et nous recommandons de la faire aussi bien que possible, non-seulement à la base, mais encore dans toutes les parties de l'espace annulaire.

Nous repoussons l'idée émise plusieurs fois de remplacer le béton par le sable ou toute autre matière inerte ; car un bétonnage serré sur toute la hauteur du cuvelage présente l'immense avantage d'isoler les différentes fissures du terrain, et si l'on ne doit pas prétendre qu'il forme un second revêtement imperméable, au moins peut-on espérer que, s'il arrivait dans un temps plus ou moins éloigné, qu'une pièce du cuvelage fût brisée, le mortier hydraulique réduirait considérablement la venue d'eau à laquelle on serait exposé dans ce cas.

Le bétonnage des puits de l'hôpital n'a présenté aucune circonstance importante à signaler.

Le puits d'aérage a été bétonné en vingt-cinq jours ; on y a employé constamment trois postes d'ouvriers faisant manœuvrer trois cuillers d'une capacité moyenne de 2 hectolitres.

Chaque poste comprend deux hommes attelés au treuil qui fait mouvoir la corde portant la cuiller, et deux au treuil de la corde du piston ; enfin deux ouvriers placés sur le plancher de service à la tête du niveau, sont chargés de remplir les trois cuillers chaque fois qu'elles remontent du puits.

Le mortier est amené au plancher de manœuvre par la machine cabestan, dans une caisse préparée à cette fin.

Nous avions fait usage précédemment des tiges en fer, pour agir plus facilement sur le piston au moment où la cuiller est à fond; mais la manœuvre en était si longue que nous y avons renoncé. Nous employons maintenant deux cordes; le poids du piston et de sa glissière, qui est armée d'une forte tige suffit, pour faire sortir le mortier que l'on a soin de ne pas faire trop dur.

La cuiller est fermée à la base par un fond mobile, qui se détache facilement quand on veut la vider.

(Voir *fig.* 8, Pl. III.)

Les éléments dont le béton a été composé sont :

1/4 ciment de Vassy ou de Roppe.

1 chaux hydraulique.

1 sable.

1 trass d'andernacht.

L'espace à remplir autour du cuvelage était d'environ 236 mètres cubes, en ne tenant pas compte des fissures des terrains. Nous avons mis en œuvre 284 mètres cubes de matériaux.

Pour le grand puits, nous avons placé quatre cuillers, afin de mieux répartir la descente du mortier dans l'espace annulaire, qui est très-grand. La composition du mortier a été la même que pour le puits d'aérage.

CHAPITRE V.

PICOTAGE A LA BASE DU CUVELAGE.

Puits n° 1. — Après avoir vidé le cuvelage et constaté qu'il était parfaitement étanche, nous avons placé à 2 mètres au-dessous de la boîte à mousse, deux trousses à picoter en fonte de $0^m,25$ de hauteur chacune et boulonnées ensemble;

puis on a placé un cylindre de raccord de $1^m,60$ de hauteur, formé de 6 pièces boulonnées verticalement et qui se sont raccordés, d'une part, aux trousses picotées et, d'autre part, à la base de la boîte à mousse. Un petit picotage horizontal a été exécuté en ce dernier point.

Après cette opération, qui n'est pas indispensable, mais qui augmente la solidité de la base du cuvelage, notre travail était terminé, et l'on a repris le fonçage du puits par les procédés ordinaires.

Pour donner une idée de la parfaite réussite de nos opérations, nous ferons remarquer que, à l'aide d'une machine cabestan à double engrenage, n'ayant qu'un seul câble et marchant par conséquent avec une très-petite vitesse à la bobine, on est parvenu, en moins d'un an, à foncer le puits d'aérage jusqu'à 320 mètres de profondeur, dans les grès rouges inférieurs et le terrain houiller.

Le travail de parachèvement se fera de la même manière au puits n° 2; nous augmentons seulement la hauteur du cylindre de raccord, qui aura 2 mètres au lieu de $1^m,60$, afin de ne pas autant déforcer le terrain au-dessous de la boîte à mousse, quand on fait la place des trousses à picoter (*fig.* 9, Pl. III).

CHAPITRE VI.

COUT DES TRAVAUX DE L'HOPITAL.

Nous donnons ci-dessous les dépenses occasionnées par l'établissement des puits n° 1 et n° 2.

Les devis estimatifs des travaux portaient une somme de 900.000 francs, dont 300.000 pour le puits d'aérage et 600.000 pour le grand puits.

On est resté au-dessous de ces chiffres, malgré les circonstances imprévues qui se sont présentées, notamment dans le forage du puits n° 1.

Nous avons mis en regard, dans le tableau ci-dessous, chacune des catégories de dépenses des deux puits.

	CATÉGORIES DES DÉPENSES.		PUITS N° 1 (dit d'aérage).		PUITS N° 2 (dit d'extraction).	
			francs.	francs.	francs.	francs.
I.	Frais d'installation.	Bâtiment	28.302,65	65.629,56	46.702,47	104.571,77
		Machines et outils	37.326,91		57.869,30	
II.	*Forage* du puits.	Appointements et salaires	55.039,81	93.018,39	72.738,54	141.659,31
		Charbon consommé	12.513,11		27.524,60	
		Huiles et graisses consommées	2.381,71		4.720,49	
		Cordages, câbles consommés	2.987,20		3.602,35	
		Fers, aciers, réparations d'outils	12.530,90		16.469,83	
		Frais de transport et divers	7.560,66		16.603,50	
III.	Cuvelage	Coût des tronçons	66.426,94	79.577,53	138.494,34	169.220,07
		Plomb pour joints	1.665,60		3.601,10	
		Boulons pour joints	1.340,99		4.915,20	
		Minium pour joints	95,20		126,40	
		Goudron pour peinturage	»		443,80	
		Filet	21,10		25,00	
		Mousse	34,80		40,00	
		Bois	345,00		1.461,05	
		Appointements et salaires pour la descente	3.447,82		8.456,44	
		Charbon consommé	1.375,25		3.357,56	
		Huiles et graisses consommées	258.03		754,40	
		Dépenses diverses et frais de transport	3.566,80		7.544,79	
IV.	Bétonnage	Appointements et salaires	4.440,43	11.811,20	......	15.000,00
		Ciment, 1.396,33; Trass 1.329,50; Chaux 1.586 00	4.311,83			
		Charbon consommé	599,11			
		Huiles et graisses consommées	178,05			
		Divers et frais de transport des matériaux	2.281,78			
V.	Picotage de la base du cuvelage.	Coût du faux cuvelage	2.347,20	6.009,48	....	10,000,00
		Appointements et salaires	2,179,23			
		Charbon consommé	897,20			
		Huiles et graisses consommées	146,75			
		Divers et frais de transport	439,10			
		Total général des dépenses		256.041,16	......	440.451,15

Les détails consignés dans le tableau qui précède permettront d'apprécier l'importance relative, au point de vue de la dépense, de chacune des opérations du fonçage des puits à niveau plein.

Ainsi qu'on pourra le remarquer, les frais d'installation ne sont pas très-élevés, malgré l'extension donnée aux bâtiments du puits nº 2 en vue des travaux ultérieurs de l'exploitation.

Les dépenses faites pour le forage du puits nº 1 ont dû se ressentir des tâtonnements par lesquels on a passé, avant d'avoir un outillage qui fût approprié à la dureté excessive des terrains que l'on avait à traverser; c'est ce qui explique la disproportion qui existe à cet égard entre le puits nº 1 et le puits nº 2.

Les frais relatifs au cuvelage présentent, pour les deux puits, une régularité qui démontre suffisamment combien cette partie de notre travail est peu sujette aux accidents et aux circonstances imprévues.

Enfin, le bétonnage et le picotage de la base du cuvelage n'ont, comme dépense, qu'une importance minime; et c'est pour cela que nous ne cessons d'insister pour que l'on ne cherche pas à rendre moins complète ou même à supprimer l'une ou l'autre de ces opérations.

CHAPITRE VII.

AVANTAGES DU SYSTÈME A NIVEAU PLEIN.

Nous croyons pouvoir résumer de la manière suivante, les avantages que présente, sur les moyens ordinaires, notre procédé de fonçage à niveau plein :

1° Isolement complet des terrains aquifères.

2° Solidité très-grande des cuvelages.

3° Réduction considérable dans les dépenses.

4° Économie de temps.

5° Amélioration du service des ouvriers.

6° Enfin, possibilité de traverser tous les *niveaux*, quels que soient l'épaisseur et la nature des morts-terrains.

A. Le mode d'exécution des joints de notre cuvelage, permet, ainsi que nous l'avons dit, de le rendre parfaitement étanche sur toute sa hauteur, et le serrage de la boîte à mousse suivi du bétonnage achève d'isoler complétement les terrains aquifères.

Les cuvelages ordinaires à segments, qu'ils soient en fonte ou en bois, n'atteindront jamais le même degré de perfection; et s'ils arrivent à tenir l'eau quand ils sont neufs, ils ne tardent pas, au bout d'un certain temps, à laisser des fuites (*pichous*) qui nécessitent des réparations très-fréquentes.

B. Comme solidité, nul doute que nos cuvelages circulaires présentent des conditions de résistance bien supérieures aux cuvelages à segments, et nous avons à cet égard une très-grande garantie par l'épreuve à laquelle il est facile de soumettre nos pièces. Les expériences de Fourchambault, qui ont été relatées précédemment, donnent une idée de la résistance que les cylindres en fonte peuvent présenter à la pression extérieure.

Il est une autre circonstance favorable à la solidité de nos cuvelages, c'est qu'il ne se fait, par le forage, aucun affouillement dans les terrains.

Lorsqu'on procède au fonçage, par le système d'épuisement, l'extraction des eaux, qui a lieu pendant toute la durée du travail, produit autour des puits des excavations plus ou moins considérables, qui s'étendent souvent très-loin, surtout lorsque les roches se désagrègent avec facilité. Les éboulements et les cassures du terrain qui en sont la conséquence, outre qu'ils créent un danger pour l'exploitation future, produisent quelquefois des effets désastreux sur les parois des puits. Nous sommes convaincus que c'est là

la cause principale de la plupart des dislocations survenues dans les cuvelages établis par les procédés ordinaires (*).

Nous rencontrerons ici l'objection que quelques ingénieurs ont faite contre la rigidité de notre système de cuvelage, qui, d'après eux, ne se prête pas suffisamment aux mouvements des terrains. Contrairement à leur manière de voir, nous avons toujours pensé que la rigidité est une des conditions essentielles d'un revêtement qui doit rester imperméable, et nous considérons comme un avantage très-grand que le cuvelage fasse corps avec les terrains qui l'enveloppent, de telle sorte que les tassements amenés par l'exploitation puissent produire une descente en masse du terrain aquifère, sans que le revêtement cesse d'être étanche.

Mais admettons même qu'il se fasse, par suite d'une exploitation désordonnée, des poussées latérales capables de briser notre cuvelage ou du moins d'en séparer les tronçons, et il faudrait, pensons-nous, un effort considérable et tout à fait local pour amener ce résultat; dans ce cas, on pourrait, sans trop de difficulté, raccorder entre elles les parties cassées, le bétonnage nous viendrait alors en aide, puisqu'il maintiendrait plus ou moins parfaitement l'isolement des niveaux (**).

En pareille circonstance, le cuvelage ordinaire formé de pièces non rendues solidaires, serait sans doute complète-

(*) On connaît les tristes circonstances qui ont amené la catastrophe de la houillère de Marles (Pas-de-Calais). Les puits Sainte-Stéphanie de Stiring ont été aussi soumis à des perturbations qui en ont compromis l'existence; M. l'ingénieur Wolwerth estime à plus de 3.000 mètres cubes les excavations qui se sont formées à proximité de ces puits.

(**) Nous avons, au puits de Ressaix (Belgique), remplacé le cylindre de la boîte à mousse, qui était défectueux, par un tronçon intérieur, qui s'est relié avec le cuvelage au moyen d'un picotage vertical; ce travail a parfaitement réussi; la venue d'eau provenant de la cassure était très-petite.

ment démantelé, et il y aurait, dans tous les cas, de grandes difficultés pour le réparer; car les vides laissés derrière le revêtement feraient affluer une quantité d'eau considérable.

C. L'économie réalisée par le travail à niveau plein est incontestable et fera vraisemblablement adopter ce procédé partout où il y aura des morts-terrains très-aquifères à traverser.

Nos premiers travaux, à Dahlbusch, à Saint-Vaast et à Péronne, avaient déjà donné des résultats satisfaisants sous ce rapport; mais nous avons obtenu, relativement, plus d'économie encore dans nos dernières entreprises.

Le puits de Saint-Vaast, où notre système complet fut appliqué pour la première fois de 1854 à 1856, a coûté 220,000 francs.

Les dépenses du puits de Ressaix (Belgique), exécuté en 1862-63, ne se sont élevées qu'à 150.000 francs, bien que ce puits soit cuvelé comme le précédent jusqu'à 92 mètres de profondeur, sur un diamètre de 3^{m},65 (*).

Le puits d'aérage de l'Hôpital coûte 256.000 francs, ainsi que nous venons de le voir, et le grand puits ne dépassera pas la somme de 450.000 francs.

Si l'on compare ces derniers chiffres aux dépenses considérables que l'on a faites aux puits de *Carling*, de *Merlebach* et de *Stiring*, qui ont coûté chacun plusieurs millions, on peut estimer sans exagération que, dans le département de la Moselle, notre procédé permettra de réduire les dépenses au tiers de ce qu'elles seraient par les moyens ordinaires; et il n'est pas certain que ces derniers puissent toujours réussir.

D. Quant à la durée des travaux, on peut constater que

(*) C'est à Ressaix que l'on a traversé une couche de terrains ébouleux de 8 mètres d'épaisseur. On a maintenu les parois du puits au moyen d'un tubage en tôle.

les entreprises que nous avons faites jusqu'à ce jour ont marché assez rapidement; mais nous comptons que l'on réalisera encore de grands progrès sur la vitesse d'exécution, moyennant une bonne installation en machines et en outillages.

Nous avons vu que le puits n° 2 de l'Hôpital a été fait en trente-quatre mois, dont vingt-neuf mois et demi pour le forage, et quatre mois et demi pour la descente du cuvelage et le bétonnage. C'est là un résultat déjà très-satisfaisant, eu égard à l'importance de l'entreprise.

E. On sait combien il est pénible de travailler dans les avaleresses exécutées par les procédés ordinaires : les mineurs s'y trouvent presque constamment dans l'eau, et l'on peut dire que les hommes très-forts sont seuls capables de supporter un tel service. Le fonçage à niveau plein présente à cet égard un grand avantage : il n'exige que des ouvriers manœuvres, et le travail de ces derniers n'est ni pénible ni difficile.

F. Enfin, on peut espérer que notre procédé permettra de traverser les niveaux les plus puissants, et quelle que soit la nature des terrains qui les recèlent.

Les moyens de fonçage ordinaires sont fort limités, sous ce rapport : à de grandes profondeurs, l'épuisement de l'eau et l'exécution des cuvelages étanches, présentent des difficultés excessives; et lorsqu'il s'agit de traverser des terrains ébouleux, des sables, le principe de l'épuisement devient lui-même un obstacle invincible, quelle que soit d'ailleurs la puissance des moyens d'actions dont on dispose.

Dans notre système de travail, on peut aborder tous les niveaux, avec chance de succès : la puissance des morts-terrains n'est pas une difficulté sérieuse; car le forage se fait bien à toute profondeur, et le cuvelage est susceptible d'une résistance très-grande, par l'épaisseur que l'on peut donner aux tronçons dont il se compose.

Dans les terrains ébouleux, le système à niveau plein se prête aussi très-bien à la descente d'un revêtement provisoire, et c'est là encore une difficulté dont il ne faut pas s'exagérer l'importance. Nous ne nous dissimulons pas cependant qu'il nous reste des écoles à faire à cet égard; mais nous aborderons sans crainte les cas de ce genre qui pourront se présenter.

En résumé, nous croyons pouvoir conclure de ce qui précède, que le système à niveau plein, par son économie et sa facilité d'exécution, permettra de mettre en exploitation la plupart des gisements houillers qui sont restés jusqu'ici inabordables, à cause de la nappe aquifère qui les recouvre; et nous espérons que le département de la Moselle, notamment, qui fait l'objet de ce mémoire, deviendra, dans un avenir peu éloigné, l'un des centres houillers les plus importants de la France.

Bruxelles, mai 1867.

AVALERESSES DE L'HOPITAL.

Extraits du *Journal des travaux.*

PUITS N° 1 (DIT D'AÉRAGE).

Les travaux d'installation, commencés au mois d'octobre 1862, n'ont été achevés qu'au mois d'avril suivant; il est vrai qu'ils ont dû être suspendus pendant la plus grande partie de la période d'hiver.

Ces travaux exigent ordinairement trois mois et demi ou quatre mois au plus, lorsqu'ils sont entrepris en temps opportun.

Le puits préparatoire est enfoncé jusqu'à la profondeur de 21^{m},40; la tête du niveau est à 17 mètres. Le puits est maçonné sur un diamètre de 4^{m},00, à partir du sol jusqu'à 5 mètres de profondeur, où se trouve le plancher de manœuvre; la partie inférieure, également maçonnée, n'a que 2^{m},80 de diamètre, ce qui suffit pour laisser passer aisément le trépan de 2^{m},50.

Le 23 avril 1863, on commence le forage du puits central, avec un trépan ayant une lame de 1^{m},37 de longueur. Jusqu'à la date du 3 mai, l'avancement n'est que de 3^{m},85; on ne travaille que douze heures par jour, afin de mettre les ouvriers au courant des manœuvres. Le travail de sondage est souvent suspendu pendant ces premiers jours, afin de vérifier l'état des appareils et spécialement celui des guides provisoires, que l'on adapte au trépan jusqu'à ce que le forage ait assez de profondeur pour que l'outil y pénètre de toute sa hauteur.

Le 4 mai, on commence à travailler jour et nuit, c'est-à-dire en deux postes de douze heures. Chaque poste d'ouvriers comprend :

1 chef de bande;
4 sondeurs;
1 mécanicien;
1 chauffeur.

Ces deux derniers alternent à tour de rôle à la machine de battage, pendant le travail du sondage proprement dit.

Le 8 mai, survient un premier accident, la rupture d'une vis d'emmanchement des tiges de sondage, ce qui n'occasionne que 2 heures de suspension dans la marche du travail.

Le 10, réparation à la machine alimentaire donnant lieu à douze heures de retard.

Le 20, même accident, cinq heures de retard.

Le 21 et le 22, nouvel accident à la machine alimentaire; le travail est suspendu pendant deux jours et demi.

Le 16 juin, rupture d'une dent de trépan; on est obligé de suspendre les travaux pendant dix jours, en attendant que le grappin soit arrivé à l'établissement.

Le 30 juin, rupture de la tige du trépan, près de la douille d'emmanchement; chômage pendant deux jours pour la réparation de l'outil.

Le 3 juillet, le forage est remis en activité et il est continué jusqu'au 4 août sans accident notable; il est alors arrivé à la profondeur de $92^m,10$.

En moins de trois mois de travail effectif, on a donc foré $66^m,85$, malgré les pertes de temps et l'inexpérience du personnel.

On arrête le sondage du puits central et l'on installe le grand trépan de $2^m,50$ de diamètre.

Le 6 août, on commence à sonder avec ce nouvel outil.

Le travail d'élargissement se fait d'abord très-irrégulièrement : le trépan touche d'un côté du puits des plaques d'hématite très-dure; la résistance inégale qu'il rencontre lui fait éprouver de fortes secousses à chaque pulsation du balancier, ce qui détériore le coulentage en planches servant de guide; après deux jours de marche, ces couches dures étant traversées, le forage s'opère dans de meilleures conditions.

Le 16 août, on rencontre une nouvelle couche d'hématite irrégulière, qui occasionne encore des chocs violents et donne lieu à la rupture de la tige de la glissière, ce qui fait chômer le travail pendant douze heures. Le forage à grand diamètre suit alors une marche régulière jusqu'au 15 septembre, époque où il est arrêté à $64^m,35$ de profondeur.

Le 19 septembre, on reprend le forage du puits central; ce travail est arrêté le 4 octobre à la profondeur de $94^m,40$, par suite de la rupture de la tige du trépan; l'outil est retiré du puits au moyen de la fauchère. Cet accident n'était jamais arrivé dans nos travaux antérieurs.

Le 5 octobre, on reprend le travail au grand trépan, qui est continué jusqu'au 26, sans autre accident que quelques ruptures des maillons de la chaîne du balancier.

Du 28 octobre au 26 novembre, le forage du puits préparatoire marche sans interruption importante.

Le 27 novembre, la vis du trépan s'étant desserrée, l'outil est resté au fond du puits; on le retire sans difficulté. En attendant la réparation, on sonde au grand trépan.

Le 29, après deux jours de marche, la tige du grand trépan se brise dans l'emmanchement carré des deux guides; on remonte l'outil avec un crochet double qui le prend à la lame repasseuse; cinq jours de chômage.

Du 5 décembre au 1er janvier, le forage au petit trépan se fait sans interruption, la course de l'outil est toujours d'environ 0m,30, bien que le terrain soit devenu plus dur.

Le 2 janvier 1864, reprise du forage à grand diamètre; la course du trépan est réduite à 0m,25, à cause de l'insuffisance de cet outil; malgré cette précaution, il ne résiste pas aux vibrations auxquelles il est exposé.

Le 7 janvier, rupture de la tige au-dessous de l'emmanchement de la vis. L'avancement des six jours a été néanmoins de 3m,76.

Du 8 janvier 1864 au 23 février, on travaille au puits central. Aucun accident ne survient pendant cette période; le terrain traversé présente plus de dureté; on a atteint les conglomérats du grès rouge.

Les 24, 25 et 26 février, on reprend le forage au grand trépan; une nouvelle rupture de la tige de l'outil, à la partie où se trouve les guides, force encore à suspendre.

On installe un nouveau trépan à fourche de 1m, 37; on commence à sonder avec cet outil le 1er mars; le même jour le mâle de la glissière s'étant dévissé, le trépan reste au fond du puits; on le retire avec un double crochet, en le saisissant par les guides.

Le 16 mars, rupture d'une dent du milieu; on la retire avec le grappin.

Le 29 mars, rupture de la tige du trépan au-dessous de l'emmanchement; trois jours de chômage pour réparer et faire une nouvelle vis.

Le 13 avril, nouvelle rupture de la tige du trépan à l'emmanchement.

Le 26 avril, même rupture. Pour parer à ces accidents répétés, il avait été décidé que l'on remplacerait l'ancien trépan à fourche par un outil massif. Ce dernier est installé immédiatement, le 29

avril. Le forage avec le trépan massif marche pendant seize jours et donne des résultats très-satisfaisants. Malheureusement, le 17 mai, le travail est arrêté par la rupture du câble de la machine cabestan, accident qui s'est produit au moment où l'on allait recevoir l'outil au plancher de manœuvre. Le trépan retombe sur la banquette du grand puits, à 86 mètres de profondeur, entraînant avec lui une tige de sondage et une longueur de 17 mètres de câble. On saisit l'appareil de sondage avec le crochet de salut et on le ramène au jour; mais au moment où l'on dévissait la tige de sondage au plancher de manœuvre, celle de la glissière se casse et le trépan retombe de nouveau au fond du puits; on le retire encore sans difficulté, à l'aide d'un crochet double construit à cette fin; lorsqu'il arrive à la surface, on constate qu'il est brisé dans sa partie inférieure, au point où sont ajustées les lames à dents repasseuses; les deux pièces ne se sont pas séparées dans la chute, grâce au serrage des boulons de ces lames; l'une des cales, restée au fond, est repêchée avec le grappin. Cet accident est l'un des plus graves que nous ayons eus jusqu'ici dans nos travaux de sondage.

Le 21 mai, on reprend le forage du puits central avec l'ancien petit trépan à fourche.

Le 28, on arrête pour placer le nouveau câble sur la bobine; la section de ce dernier est de $0^{m}_{2},0085$; l'autre n'avait que $0^{m}_{2},0054$.

Le 3 juin, rupture d'un des guides en fer, un fragment de $0^{m},50$ de longueur est resté dans le puits. Ne parvenant pas à le repêcher, on se décide à battre dessus avec le trépan.

Le 4 juin, rupture de la tige du trépan au-dessous de l'emmanchement; trois jours de chômage, dont on profite pour monter la nouvelle pompe alimentaire.

Le 11, rupture d'une dent; on la retire au grappin; on repêche en même temps le morceau de guide abandonné précédemment.

Le 29, rupture de la glissière à la vis de jonction avec le trépan. On arrête le travail du puits préparatoire; profondeur atteinte $148^{m},02$.

Le 2 juillet, on remet en activité le forage au grand diamètre.

On a adapté, au trépan élargisseur, des guides suspendus.

A la première descente de l'outil, celui-ci reste ancré dans une couche d'argile qui s'est un peu gonflée. On le retire avec peine; on diminue le diamètre des guides, puis le trépan passe avec facilité. Le travail marche régulièrement pendant les mois de juillet et août; aucun accident ne survient, si ce n'est quelques ruptures à la chaîne d'attache du cylindre batteur.

Le 2 septembre, rupture d'une dent au trépan; on fait descendre plusieurs fois la cuiller de draguage et le grappin sans pouvoir la retirer. Ce dernier outil ne fonctionne plus convenablement; on le met en réparation et l'on se décide à reprendre le sondage, malgré la présence possible de la dent sur la semelle du puits; le travail marche bien.

Le 10 septembre, nouvelle rupture de dent; mais cette fois le morceau de fer étant resté sur la banquette, on est obligé de suspendre le forage jusqu'à ce que l'on ait un grappin convenable. Un nouvel outil de ce genre a été expressément commandé pour les grands diamètres.

Le 15 septembre, on reprend le travail du puits central, et le 13 octobre il est arrivé à la profondeur de 163m,85, où on l'arrête provisoirement.

Le 14 octobre, on monte le nouveau grappin et on le fait fonctionner sur la semelle du grand forage; on parvient à faire tomber dans le puits central la dent cassée précédemment; on reprend ensuite le sondage au grand diamètre.

Le 22, rupture de la cale de la glissière; on retire le trépan avec un crochet double, en le saisissant aux guides.

Le 25, cet accident se reproduit deux fois dans la même journée; on agrandit la mortaise et l'on renforce la cale.

Le 4 novembre, on a atteint le grès rouge vers 132 mètres de profondeur.

Le 6, rupture de la glissière; on retire le trépan sans difficulté avec le crochet;

Le 7, rupture d'une dent de trépan; on la fait tomber dans le trou central à l'aide du grappin.

Le 10, rupture de la cale de la glissière.

Le 11, un madrier du plancher de manœuvre est tombé dans le puits; on est obligé de le briser au trépan.

Le 12, rupture de la chaîne d'attache du balancier.

Le 17, rupture d'une dent; on la fait tomber dans le puits central avec le grappin.

Le 23, rupture d'une dent; on essaye de la faire tomber dans le puits central. En descendant le trépan on constate que la dent est encore sur la semelle; on essaie de nouveau avec le grappin et l'on parvient enfin à débarrasser la banquette. La profondeur atteinte est de 133m,49; le terrain présente une dureté excessive; le trépan remonte constamment avec toutes ses dents desserrées, ainsi que les cales d'assemblage des bras.

On agrandit les mortaises de la fourche, on élargit aussi les en-

coches des dents du milieu et l'on diminue la hauteur de toutes les dents; enfin on réduit le diamètre du puits à $2^m,40$, afin de donner plus d'action à l'outil.

Le 3 décembre, rupture d'une dent; on la fait tomber avec le grappin.

Le 11, même accident.

Le 3 janvier 1865, rupture de la fourche du trépan; on suspend les travaux de forage et l'on profite du temps de chômage forcé pour nettoyer le puits central. On en retire six dents, deux cales de glissière, un boulon et divers morceaux de fer.

Du 20 au 23 janvier, pour utiliser le temps disponible, on approfondit le puits central d'environ $1^m,27$; sa profondeur totale est de $165^m,12$, où il a été arrêté définitivement.

Le 4 février, on reprend le sondage au grand diamètre avec un trépan à deux lames étagées.

Le 15, rupture d'une dent de la lame de dessous. Cette dent étant restée sur la banquette inférieure, on éprouve beaucoup de difficulté à l'atteindre; néanmoins, après diverses tentatives, on parvient à la faire tomber dans le puits central.

Le 16 février, on constate que le puits a dévié de la verticale sur toute la hauteur du dernier mètre que l'on a foré à grand diamètre. On commande des dents repasseuses pour le redressement.

Le 8 mars, on fait fonctionner le trépan avec ses nouvelles dents et l'on arrête ensuite les travaux, en attendant que le trépan à deux lames ait été modifié de telle manière que les dents se placent symétriquement par rapport au centre du puits.

Le 28 mars, on remet le sondage en activité.

Le 7 avril, rupture d'une dent du trépan; le 11, même accident; on fait tomber ces dents dans le puits central avec le grappin.

Le 19, rupture de la cale de la glissière; on retire le trépan avec le crochet double.

Le 22, nouvelle rupture de la cale de la glissière.

Le 5 mai, même accident.

Le 7, une dent de la lame supérieure se détache et reste au fond; on la fait tomber dans le petit puits, à l'aide du trépan lui-même.

Le 21 mai, on remarque que la fourche du trépan présente deux cassures et que la rupture complète est imminente.

On suspend le forage en attendant l'arrivée du grand trépan massif, que l'on a fait construire vu l'impossibilité de mener le travail à bonne fin avec l'ancien outillage. On fait néanmoins consolider la fourche de l'ancien trépan, avec des clames en fer et des étriers, afin de pouvoir encore s'en servir en cas d'urgence.

Pour utiliser le temps de chômage, on cure le petit puits qui est rempli de débris de fer. Le grappin lui-même se casse pendant les manœuvres, on le répare et l'on achève ensuite de nettoyer le puits central.

Le 9 juin, le grand trépan massif arrive au chantier; le 14, il est entièrement monté et on le descend pour la première fois. A partir de ce moment, le travail de forage subit une série d'accidents dont nous allons donner le détail.

Le 14, lors de la descente du trépan, l'outil reste ancré dans le fond du puits, et ce n'est qu'à grand peine qu'on parvient à l'en faire ressortir. On se décide à buriner les têtes de la lame, et l'on parvient ainsi à le faire passer avec facilité dans la partie inférieure du puits, qui est plus étroite.

Mais l'outil n'avait pas fonctionné pendant une heure, que déjà il se produit une rupture de la tige de la glissière; on est obligé de retirer le trépan avec la fourche.

Le travail de forage ayant été repris, il se produit au bout de quelques instants une nouvelle rupture au ferrement d'une tige de sondage; on parvient encore à reprendre le trépan au moyen de la fauchère; on s'aperçoit alors que l'outil a laissé une dent au fond du puits. On descend le grappin et l'on essaye de la faire tomber dans le puits central; mais on n'y parvient pas. On se décide à descendre de nouveau le trépan et à sonder avec précaution; on arrive ainsi à briser une nouvelle dent.

On recommence les manœuvres au grappin, mais sans succès; on suppose que les dents sont engagées dans les fissures de la roche. Après bien des tentatives infructueuses on parvient enfin à constater le 8 juillet, c'est-à-dire après quatre semaines de tâtonnement, que l'une des dents est tombée dans le petit puits.

On essaye de nouveau de manœuvrer avec le grappin pour dégager la seconde dent; on gratte la semelle sans s'apercevoir de la présence d'aucun corps étranger.

Enfin, le 14 juillet, on se décide à faire fonctionner le grand trépan pour dégager le terrain tout autour des dents, si elles se trouvent encore sur la banquette.

Le 16 juillet, rupture d'une nouvelle dent; on descend le grappin avec sa cuiller, sans toutefois ramener la dent; mais on se décide néanmoins à reprendre le travail au trépan. Le forage marche bien, mais lentement, attendu que l'on ne peut donner toute la course à l'outil. Au bout d'une vingtaine de jours, on ne s'aperçoit plus de la présence des dents sur la semelle du puits; elles ont été vraisemblement broyées et jetées dans le puits central par l'ac-

tion du trépan. On reprend alors la marche ordinaire du forage.

Le 20, rupture de la tige de la glissière; on ramène le trépan avec la fourche.

Le 21 et le 23, même accident.

On fait une nouvelle tige de glissière que l'on surmonte d'une rallonge de 4 mètres de longueur.

Le 30 juillet, on suspend le travail du forage pour trois jours, afin de faire une épissure au câble.

Le 14 août, on est arrivé à la profondeur de 155m,55; on retire le trépan massif, et l'on remet en marche l'ancien trépan à fourche, afin de réduire le diamètre du puits pour l'emplacement de la boîte à mousse.

Le 28 août, le sondage est arrêté à 158 mètres de profondeur; les 2m.50 de la partie inférieure sont forés au diamètre de 2m,25.

Le 29 août, on démonte les outils de sondage et l'on commence les travaux préparatoires à la descente du cuvelage.

Le 15 septembre, on descend les premières pièces assemblées avec le faux fond, jusque sur l'eau. A partir du 20, on superpose les tronçons sur la colonne et l'on descend régulièrement.

Le 31 octobre suivant, soit en quarante jours de travail, le cuvelage touche le fond du puits.

Le 13 novembre, on est occupé à faire le bétonnage.

Le 8 décembre, c'est-à-dire en moins d'un mois, cette opération est entièrement terminée.

Après avoir laissé durcir le béton jusqu'à la fin du mois de janvier 1866, on a extrait l'eau qui remplissait le cuvelage; l'entreprise était alors terminée. Néanmoins, afin de garantir la base du cuvelage contre tout démantellement ultérieur, à provenir soit de tassements dans le terrain, soit de toute autre cause, on juge utile de placer, au-dessous de la boîte à mousse, deux trousses à picoter et un cylindre de raccordement en fonte, qui ont allongé le revêtement métallique de 2 mètres. La hauteur totale du cuvelage en fonte est donc de 142m.55, comprenant : 70 anneaux de 2 mètres; le sabot de la boîte à mousse, 0m,30; la hauteur du matelas comprimé, 0m,25, et 2 trousses avec le cylindre de raccord, 2m.00.

PUITS N° 2 (DIT D'EXTRACTION).

On a commencé les travaux d'installation au mois de septembre 1863 ; ils ont été peu activés pendant les mois de décembre, janvier, février et mars, à cause du mauvais temps ; ils étaient terminés néanmoins à la fin de mai 1864. On a construit une tour de sondage en maçonnerie devant servir ultérieurement pour bâtiment d'extraction.

Le puits préparatoire est creusé jusqu'à la profondeur de 21 mètres ; il est maçonné sur 5m,50 de diamètre jusqu'au plancher de manœuvre, à 5 mètres du sol, et sur 4m,50 de diamètre dans la partie inférieure.

Le 9 juin 1864, on commence le forage central au diamètre de 1m,37 avec le petit trépan à fourche ; ce travail marche sans aucun accident jusqu'au 7 septembre suivant, époque à laquelle on atteint la profondeur de 95m,35.

Le 8 septembre, on descend le trépan élargisseur de 4m,10 de diamètre.

Le 9 octobre, rupture de la vis d'emmanchement de la tige de la glissière ; on retire le trépan du puits avec la fauchère.

Le 13 octobre, même accident.

Le 17, rupture de la partie en fer de la tige inférieure de sondage, par suite des secousses violentes que reçoit le trépan ; ce qui est dû à la présence de plaquettes ferrugineuses dans le terrain.

On remonte l'outil à l'aide de la fanchère.

Le 25, rupture de la vis de la tige de la glissière.

Le 9 novembre, même accident. On se décide à arrêter le forage pour remanier tous les outils et remplacer les vis d'assemblage des tiges et des rallonges, ce qui occasionne un chômage de quatre jours.

Les travaux de sondage sont repris le 13 novembre.

Le 18, rupture de la vis de la glissière ; on remonte le trépan avec la fanchère.

Le 26 novembre et le 5 décembre, même accident ; on remet une vis plus forte à la tige de la glissière.

Le 7, on reprend le forage pour faire une digue dans la galerie d'écoulement. Jusqu'à ce jour on a laissé couler les eaux par cette

galerie dont le sol est d'environ 3 mètres plus bas que la tête du niveau.

Le 2 janvier 1865, rupture de la chaîne du cylindre batteur.

Le 7, rupture de la tige du piston dudit cylindre, et, le 8, bris d'un boulon de la chapelle de distribution de vapeur.

Le 9, rupture d'une dent de tête; le sondage au grand diamètre est arrêté à la profondeur de 83m,81.

Les 10 et 11, on travaille avec le petit trépan pour couper les terres collées le long des parois du puits central; le sondage est ensuite remis en activité avec le petit trépan massif.

Le 20, on remet le petit trépan à fourche, l'autre étant nécessaire pour le travail du puits n° 1.

Le 27, on reprend le trépan massif; le même jour rupture de la vis d'une tige de sondage.

Le 28, rupture de la vis de la tige de la cuiller de draguage, qui s'est posée sur la banquette du grand puits, lors de la descente.

Le 4 mars, on atteint le grès rouge à la profondeur de 131m,18.

Le 7 avril, le puits central est arrivé à 141m,20. On reprend le forage au grand diamètre. Le grand trépan a maintenant deux lames superposées et pèse 10,000 kilogrammes. Après cinq jours de travail, on s'aperçoit seulement de la présence, sur la semelle du puits, de la dent cassée le 9 janvier; on la retire avec le grappin.

Le 21, rupture du ferrement d'une tige de sondage.

Le 6 mai, on place un nouveau câble à la machine cabestan.

Le 9, rupture du moyeu du grand engrenage de ladite machine; on est obligé de chômer pendant deux jours pour le réparer.

Cet accident est dû à ce que le nouveau câble étant très-long et de très-fortes dimensions, le diamètre d'enroulement à la bobine est plus que doublé, ce qui augmente dans la même proportion l'effort supporté par l'engrenage.

Le 15, on supprime l'une des lames du grand trépan, afin d'en diminuer le poids et d'éviter de nouveaux accidents à l'engrenage.

Le 17 juin, on remarque que la tige de la cuiller de draguage est pliée par la résistance que présentent les terres collées sur les parois du puits central; on y fait jouer le petit trépan pendant toute la journée pour parer à cet inconvénient.

Le 15 juillet, rupture de la tige du grand trépan à la douille d'assemblage avec la tige de la glissière; on retire l'outil au moyen de la fanchère.

Le 19, on travaille au sondage du puits central. La cale de la glissière s'étant détachée, le trépan reste dans le puits; on le remonte à l'aide d'un crochet double. On fait manœuvrer le grappin,

mais l'on ne parvient à retirer la cale du fond du puits que le 21 juillet.

Le 22, même accident; on retire le trépan et la cale, et l'on remédie à l'usure des mortaises des plateaux de la glissière.

Le 23, rupture de la vis de la tige de la glissière; on retire le trépan au moyen de la fanchère.

Le 27, on replace le grand trépan sur le puits.

Le 20 août, rupture de la tige du trépan au-dessous de la vis d'emmanchement. On reprend le forage du puits central, en attendant que le grand trépan soit réparé.

Le 7 septembre, on recommence à sonder au grand diamètre.

Le 14, rupture d'une dent de tête; on la retire avec le grappin. Le terrain devenant assez dur, on décide que l'on élargira le grand puits en deux fois, en forant d'abord sur le diamètre intermédiaire de 2m,50.

Le 19, le trépan massif de ce calibre commence à fonctionner.

Le 6 octobre, on atteint la tête du grès rouge.

Le 21, on est obligé de suspendre pour réparer le piston du cylindre batteur dont un segment et deux ressorts sont cassés.

Le 24, rupture d'une dent de tête; on la retire à l'aide du grappin.

Le 26, rupture de la tige du piston du cylindre batteur.

Le 30, rupture de la cale de la glissière.

Le 2 novembre, rupture du ferrement d'une tige de sondage à la fourche. Le terrain est excessivement dur; on est constamment obligé de faire des réparations aux diverses pièces du cylindre batteur.

Le 14, on arrête provisoirement le puits intermédiaire à la profondeur de 140m,66.

Le 15, on remet en marche le trépan de grand diamètre.

Le 19, rupture de la tête de sonde.

Du 20 au 27, on suspend le travail pour mettre les ouvriers au puits n° 1, où le bétonnage exige un grand nombre de bras.

Le 3 décembre, rupture de la chaîne du cylindre batteur.

Le 4, rupture de l'une des pièces de retenue du balancier.

Le 9, rupture du ferrement de la première tige de sondage; on retire le trépan avec la fanchère.

Le 11, rupture de la tige de rallonge placée au-dessus de la glissière; on ne parvient pas à retirer l'outil avec la fanchère; ce n'est qu'après deux jours de tentatives infructueuses que l'on arrive enfin à le reprendre à l'aide d'un crochet de salut en caracole.

Le 23, rupture du tourne-sonde.

Le 24, rupture du guide de la tige du piston du cylindre batteur.

Le 28, rupture de la tige de la glissière.

Le 31, nouvelle rupture de la tige du trépan au-dessous de l'emmanchement; on retire le trépan à l'aide de la fanchère; on suspend le travail d'élargissement.

Le 2 janvier 1866, on fait descendre le grappin pour curer le puits central qui est encombré de morceaux de fer et d'autres objets. Le grappin ne produisant pas d'effet, on monte le petit trépan massif pour broyer ces résidus; après quatre heures de marche, la tige du cylindre batteur est mise hors de service, ce qui force à chômer jusqu'au 10.

Le 17, on remet le grand trépan en activité.

Le 19, rupture de la tige de la glissière; on retire le trépan avec la fanchère; on a atteint le grès rouge.

Le 21, rupture du ferrement de la première tige de sondage; on retire le trépan avec la fanchère.

Le 29, rupture de la tige du trépan à l'emmanchement de la glissière; on remonte l'outil à la fanchère. On se décide à faire fabriquer une nouvelle tige de trépan.

Le 30, on remet en activité le forage du puits central. Après trois jours de travail pour retirer du petit puits les débris de fer qui s'y trouvaient accumulés, ce travail marche régulièrement.

Le 24 février, la cale de la glissière s'étant détachée, le trépan reste au fond du puits. On le retire avec un crochet double; on se sert ensuite du grappin pour repêcher la cale.

Le 12 mars, on arrête le forage du puits central à 170^{m},85 de profondeur. On replace le grand trépan avec sa nouvelle tige.

Le 13, on recommence à sonder. Il y a des retards fréquents dans le travail à cause des réparations à faire au trépan, dont les clavettes prennent du jeu, quel que soit le serrage qu'on leur donne.

Le 30, rupture de la cale de la glissière; le trépan est retiré à l'aide d'un crochet double.

Le 4 avril, on est obligé de suspendre le travail pour remanier les assemblages des fourches du trépan, dont on élargit les mortaises pour renforcer les clavettes.

Le 5, on reprend le forage avec le trépan de 2^{m},50.

Le 8, rupture de la tige de la glissière; on retire le trépan avec la fanchère.

Le 11, même accident.

Le 15, rupture d'une dent de tête.

Le 16, rupture d'une tige de sonde.

Le 28, on reprend le forage au grand diamètre.

Le 30, suspension du travail pour réparer la corde de la machine-cabestan.

Le 11 mai, on est obligé de passer toute une journée à aléser le puits central, dans lequel la cuiller de draguage ne pénètre plus, à cause des dépôts argileux qui se font sur les parois.

Le 28, une dent se détache du grand trépan; on la fait tomber dans le puits central.

Le 2 juin, suspension du travail pour réparer le piston du batteur.

Le 5, une clavette de la lame du trépan ayant pris du jeu, se détache et reste au fond du puits.

Les 7 et 8, nouvelles réparations au piston du cylindre batteur; on est obligé de changer les segments.

Le 18, on place deux fortes clames en fer pour consolider les bras du trépan qui menacent de se briser.

Le 21, rupture des guides suspendus.

Le 5 juillet, on reprend le travail au trépan de 2^m,50.

Le 15, on remet le grand outil.

Le 20, rupture d'une tige de sonde immédiatement au-dessus d'un ferrement; on retire le trépan avec le crochet de salut.

Le 24, rupture d'une dent du trépan ; on la fait tomber dans le puits central.

Le 11 août, on reprend l'élargissement au diamètre de 2^m,50.

Le 31, rupture de la tige de la glissière; on retire l'outil avec la fanchère.

Le 11 septembre, rupture d'une tige de sonde.

Le 13, rupture d'une dent du trépan.

Le 15, on arrête définitivement le forage de 2^m,50 à la profondeur de 164 mètres, et l'on reprend le travail au grand trépan.

Le 19, on s'aperçoit que la rupture du câble de la machine devient imminente; chômage jusqu'au 3 octobre pour le faire réparer.

Le 7 octobre, rupture de la cale de la glissière; on retire le trépan avec le crochet double, qui le prend aux guides. Arrivé à 13 mètres du fond, l'outil se décroche et retombe sur la semelle du puits; on répare le crochet, on recommence la manœuvre et l'on parvient enfin à ramener le trépan à la surface.

Le 20, l'un des bras du trépan se brise vers le milieu de sa longueur ; on rassemble les deux parties cassées avec deux clames de fer boulonnées sur chacune d'elles; après trois jours de chômage on reprend le travail de forage.

Le 27, nouvelle réparation au piston du cylindre batteur.

Le 1er novembre, le puits a 154 mètres de profondeur et conserve encore un diamètre de 4m,05. A partir de ce moment, on le réduit insensiblement et il arrive à 158 mètres n'ayant plus que 3m,88. Il est enfin arrêté à la profondeur de 159m,28, le 21 novembre.

On se prépare immédiatement à faire les installations nécessaires pour la descente du cuvelage. Le 29 décembre, toutes les pièces à descendre sur l'eau sont prêtes : la boîte à mousse avec son matelas, les trois premiers tronçons et le fond d'équilibre assemblés; tout le système est suspendu sur six tiges engrenées chacune à son cabestan.

Deux jours après, le faux fond était sur l'eau, et l'opération régulière de la descente du cuvelage pouvait se faire par la superposition successive des tronçons.

Le 14 février 1867, toute la colonne métallique était assemblée et, le 16, la boîte à mousse touchait la semelle du puits. Le serrage de la boîte s'est fait convenablement; la compression a réduit le matelas à 0m,15 de hauteur.

Le 1er mars, on commence le bétonnage; cette opération est terminée le 6 avril suivant.

On se met dès lors en mesure de démonter les appareils spéciaux ayant servi au fonçage du puits à niveau plein, afin de pouvoir reprendre le travail par les moyens ordinaires.

On attend jusqu'au 20 mai avant d'enlever l'eau qui se trouve dans le cuvelage, afin de laisser durcir le béton.

RAPPORT

A SON EXCELLENCE M. LE MINISTRE DE L'AGRICULTURE, DU COMMERCE ET DES TRAVAUX PUBLICS

SUR

L'EMPLOI DES EAUX D'ÉGOUT DE LONDRES.

Par M. CH. DE FREYCINET, ingénieur des mines.

Le présent rapport a été rédigé en exécution de la décision ministérielle du 9 juin 1866, prise sur l'avis du Comité consultatif des Arts et Manufactures.

Le rapporteur a cru devoir traiter le sujet avec quelque étendue, pensant que les renseignements qu'il était en mesure de donner pourraient offrir un certain intérêt, au moment surtout où une question semblable s'agite pour la ville de Paris. Il a réuni dans des Notes séparées, à la suite du rapport, les détails qui auraient trop chargé la rédaction, ou qui ne rentraient pas directement dans le cadre tracé. De ce nombre sont d'assez nombreux extraits de l'Acte parlementaire du 19 juin 1865, qui a constitué définitivement la Compagnie d'irrigations de Londres. Cette loi a paru d'autant plus intéressante à consulter qu'elle est la première qui ait été rendue en cette matière, et qu'elle servira sans doute de type aux concessions du même genre qui interviendront, par la suite, en Angleterre.

EXPOSÉ.

Nous nous proposons de faire connaître la solution récemment adoptée en Angleterre pour utiliser les eaux d'égout de la ville de Londres.

Notre travail sera divisé en deux parties :

Dans la première, nous indiquerons la manière dont les eaux d'égout ont été recueillies et amenées en des points éloignés de la métropole ;

Dans la seconde, nous dirons comment ces eaux sont détournées avant de tomber en Tamise, et dirigées de façon à pouvoir être répandues sur les terres cultivées ou sur des ables enlevés à la mer.

Nous terminerons par quelques conclusions touchant les applications que l'exemple de Londres permet d'espérer pour la généralité des villes.

PREMIÈRE PARTIE.

DRAINAGE.

Le drainage dont il s'agit ici est celui que les Anglais nomment *main drainage* ou drainage principal, pour le distinguer du drainage ordinaire ou drainage partiel, lequel a spécialement en vue le service direct des maisons et des rues. Le *main drainage*, au contraire, a pour objet la ville prise dans son ensemble. Il consiste en un petit nombre de grandes lignes, destinées à intercepter les eaux de tous les évacuateurs et à les réunir dans de vastes canaux couverts qui les transportent loin de la ville.

L'exécution du *main drainage*, à Londres, est une opération toute récente, qui touche à peine à son terme. Elle a été déterminée par l'impérieuse nécessité de préserver

la Tamise des déjections qui la souillaient au sein même de la métropole, et de mettre celle-ci à l'abri des funestes effets de leur décomposition. Elle a eu pour triple résultat d'améliorer la qualité des eaux alimentaires (*), d'assécher le sol de la ville et de purifier l'atmosphère. Mais pour mieux faire saisir la destination et l'opportunité de cette grande mesure, il est nécessaire de dire quelques mots de l'état antérieur des choses.

M. Basalgette, ingénieur en chef des travaux, a indiqué, dans une publication récente, les phases historiques qu'avait subies la question de l'assainissement de Londres, jusqu'en 1856, époque où, pour la première fois, on s'est mis en devoir de réaliser pratiquement le *main drainage*. Nous renvoyons à la Note *a* ces détails qui, malgré leur intérêt, nous conduiraient trop loin de notre sujet. Nous bornant à prendre les choses en 1856, nous rappellerons qu'à cette époque, la ville était déjà à peu près pourvue d'égouts sous les rues et sous les maisons; le principe de l'évacuation souterraine des résidus domestiques et de la suppression des fosses d'aisances était universellement admis et assez généralement appliqué; en même temps les maisons s'enrichissaient d'une abondante distribution d'eaux publiques: la première moitié du problème indiqué par le *General Board of Health* était donc résolue ou sur le point de l'être. Mais tout était encore à faire pour la seconde (**).

En effet, les égouts déchargeaient directement leur contenu dans la Tamise, au milieu de la ville, et la majeure partie d'entre eux ne pouvaient se vider qu'à la marée basse. Aussi, à la marée montante, les embouchures des égouts

(*) On sait que Londres est alimenté par l'eau de la Tamise.

(**) Le *General Board of Health* avait en effet proclamé, en outre, la nécessité de préserver les villes des funestes effets de la décomposition de leurs résidus, en emportant ceux-ci au loin par une circulation active et continue et les faisant tourner au profit de l'agriculture.

étaient-elles fermées, et les liquides emprisonnés entre leurs parois. Les eaux des parties élevées continuant à affluer, les matières lourdes se déposaient naturellement dans les parties basses et motivaient des curages aussi fréquents qu'onéreux. Quand de fortes pluiès coïncidaient avec la marée haute, c'était pis encore : les égouts s'engorgeaient et les eaux impures refluaient dans l'intérieur des maisons, par les drains privés. Mais les plus grands inconvénients peut-être se produisaient dans la Tamise même, où les impuretés, tantôt abandonnées sur les berges en couches putrescibles, tantôt promenées dans la ville par le mouvement alternatif du flux et du reflux, avaient, au dire des documents officiels, souillé cette partie du fleuve à l'égal des égouts les plus empestés. Avec le développement du drainage des rues et des maisons, la situation était devenue intolérable. En 1855, les compagnies des eaux furent obligées de remonter leurs prises à Hampton-Court, et, trois ans plus tard, au moment des chaleurs de l'été, les deux chambres du Parlement durent suspendre leurs séances. A ces maux déjà si grands, s'ajoutait le manque de débouchés pour les nouveaux districts. Aussi, malgré le danger reconnu de la stagnation des ordures, on vit, en maints endroits, revivre les anciennes fosses d'aisances et les trous à fumier.

Tel était l'état des choses, lorsque fut constitué le Conseil actuel des travaux de la ville, le ***Metropolitan Board of works***, création éminemment heureuse, qui devait avoir de si grands résultats pour la salubrité publique. On ne lira peut-être pas, sans intérêt, quelques détails relatifs à sa formation : nous en avons fait l'objet de la Note *b*.

Le Conseil métropolitain entra en fonctions le 19 octobre 1855, et aussitôt après qu'il eût composé son personnel, il chargea son ingénieur en chef, M. Basalgette, de préparer d'urgence le plan définitif du ***main drainage*** de la ville. Ce plan, fruit des méditations de plusieurs hommes éminents,

MM. Robert Stephenson, William Cubitt, Franck Forster, Haywood, etc., qui, à diverses époques, avaient porté leur attention sur ce sujet, fut dressé, pour les parties nord et sud de la ville, aux dates respectives du 4 avril et du 23 mai suivant. Il donna lieu à une polémique longue et passionnée. Durant deux ans, le ***Premier Commissaire des travaux de Sa Majesté***, sous la haute juridiction duquel le drainage de Londres était alors placé, usa de son droit de *veto* pour suspendre l'exécution du projet du Conseil et pour y substituer un contre-projet, rédigé d'ailleurs par des hommes distingués, mais auquel le Conseil, dans le sentiment de sa responsabilité, ne crut pas pouvoir se rallier. Enfin, en 1858, la situation de la Tamise étant devenue tout à fait alarmante, le nouveau Premier Commissaire, lord John Manners, prit la louable initiative de faire rapporter l'Acte qui enchaînait la liberté du Conseil métropolitain. En même temps, ce dernier fut autorisé, par Acte du 2 août, à contracter un emprunt à concurrence de 75 millions de francs, chiffre porté plus tard à 105 millions. C'est de ce jour que date véritablement la révolution sanitaire accomplie dans la capitale du Royaume-Uni. Et, depuis ce moment, on peut dire que pas une heure n'a été perdue pour la mener à bonne fin. En effet, dès le 11 du même mois, le Conseil arrêtait définitivement les bases de son œuvre future, et moins de cinq mois après, en janvier 1859, les travaux étaient commencés. Ils touchent aujourd'hui à leur terme, en sorte que huit ans environ auront suffi pour réaliser cette colossale entreprise. Nous allons en faire connaître les traits essentiels.

Les conditions fondamentales auxquelles le projet avait à satisfaire étaient les suivantes :

Intercepter la totalité des eaux d'égout ainsi que la majeure partie des eaux météoriques du bassin de Londres ;

Substituer l'écoulement continu à l'écoulement inter-

mittent, et, par suite, supprimer toute occasion de dépôts dans les égouts;

Chosir un point de décharge tel, qu'en aucun cas, les matières livrées au fleuve ne pussent être ramenées par le reflux à proximité de la ville;

Et, pour la réalisation de cette œuvre, n'employer, s'il était possible, que les forces naturelles ou, tout au moins, ne recourir aux moteurs mécaniques que dans les cas d'absolue nécessité.

Tel est le programme qu'on s'était imposé de remplir.

Le système auquel on s'est arrêté paraît aussi simple qu'efficace (*).

La Tamise étant prise pour axe de la ville (Pl. IV), celle-ci peut être envisagée comme formée de deux parties plus ou moins symétriques, l'une sur la rive nord, l'autre sur la rive sud, lesquelles doivent être desservies par des réseaux analogues et indépendants. En conséquence, trois lignes de grands collecteurs, coupant à angle droit les collecteurs déjà existants, ont été tracées dans chacune de ces deux régions, de manière à la diviser en trois zones à peu près parallèles au fleuve, lesquelles ont été respectivement nommées *étage bas*, *étage moyen* et *étage haut*. Les trois collecteurs réunissent leurs eaux dans un émissaire ou égout de décharge, *outfall sewer*, lequel les conduit dans un réservoir où elles s'accumulent jusqu'au moment fixé pour l'évacuation en rivière. Cette évacuation a lieu deux fois par jour, lorsque la marée commence à descendre, et chaque fois elle dure environ deux heures. On réalise ainsi le double avantage et d'envoyer les impuretés au sein de la plus grande masse possible de liquide, et de les faire emporter par le flot du côté opposé à la ville. On a calculé que cette dernière cir-

(*) Les détails qui suivent sont empruntés à la fois à une brochure de M. Basalgette, aux rapports du Conseil métropolitain des travaux, à l'enquête parlementaire de 1864 et aux renseignements que nous avons pris nous-même sur les lieux en juin et juillet 1866.

constance faisait gagner 19 kilomètres, c'est-à-dire que par la décharge à marée haute on se trouvait dans les mêmes conditions que si la décharge avait lieu à 19 kilomètres plus loin à marée basse.

Sur la rive nord, les collecteurs haut et moyen se réunissent à Deptford et forment, par leur confluence, la tête de l'émissaire. Celui-ci reçoit un peu plus loin, à Abbey Mills, les eaux de l'étage inférieur, lesquelles, pour s'y déverser, doivent être élevées, par des machines à vapeur, à une hauteur de 11 mètres. De là, les liquides descendent, par la pente naturelle de l'émissaire, au réservoir de Barking Creek, situé à 22 kilomètres et demi en aval de London Bridge. En tenant compte de la marée haute, ainsi que nous disions tout à l'heure, c'est donc comme si les eaux étaient déchargées à près de 42 kilomètres de ce point.

Sur la rive sud, les collecteurs se réunissent à Deptfort Creek, où le contenu du collecteur inférieur est remonté à une hauteur de 6 mètres. Les eaux se rendent ensuite, par l'émissaire, au réservoir de Crossness Point, situé un peu en aval du précédent. Mais l'émissaire du sud, plus bas que celui du nord, ne permet l'écoulement naturel qu'à la marée basse : aussi les liquides sont-ils élevés, par des pompes à feu, à une hauteur moyenne de 7 mètres, pour être écoulés à la marée haute.

La forme généralement adoptée pour les canaux est la forme circulaire, comme offrant la plus grande section pour une quantité donnée de maçonnerie. Quant aux dimensions, elles résultent de deux éléments : 1° la quantité totale de liquide à évacuer, 2° la vitesse nécessaire pour prévenir la formation des dépôts dans les galeries. En ce qui concerne ce dernier élément, on était d'avance condamné à un minimum; car, dès l'instant qu'il fallait recourir aux machines pour racheter l'insuffisance de la chute, l'économie de la pente et par suite celle de la vitesse étaient de toute nécessité. Après des expériences multipliées, on s'est arrêté au

chiffre de $\frac{2}{3}$ de mètre par seconde. Pour déterminer la quantité de liquide, on a admis une moyenne de 142 litres (5 pieds cubes) par habitant et par jour, ce qui fait un total d'environ 400.000 mètres cubes, soit 285.000 mètres cubes pour la rive nord et 115.000 mètres cubes pour la rive sud. On a pris, en outre, une marge de près de 25 p. 100, en prévision de l'accroissement probable de la population, en sorte qu'on a raisonné sur un chiffre peu inférieur à 500.000 mètres cubes. Enfin il faut ajouter la quantité d'eau de pluie. On ne pouvait songer à la recueillir en totalité, car il y a des orages tels qu'en une heure de temps, le volume d'eau tombée dépasse de beaucoup celui des eaux d'égout de toute la journée (*); mais, en mettant les collecteurs à mêmes d'emporter une masse de pluie de 13 à 1.400.000 mètres cubes, en vingt-quatre heures, soit avec les eaux d'égout, 1.800.000 mètres cubes, dont 1.150.000 pour la rive nord et 650.000 pour la rive sud, on a calculé que, sauf une douzaine de jours par an, et chaque fois pendant peu d'heures, le réseau suffirait pleinement à sa destination. Quant à ces jours exeptionnels, des débouchés ont été prévus pour écouler directement les eaux à la rivière par les principales lignes de thalweg qui traversent la ville dans un sens perpendiculaire à la Tamise.

Les cinq sixièmes des travaux sont aujourd'hui terminés et le service y est en pleine activité. Seul, le collecteur bas de la rive nord est encore en construction. Commencé il y a deux ans, on espère le livrer en 1867; rien ne manquera dès lors au système projeté. Pour en faire apprécier toute l'importance et l'originalité, nous passerons brièvement en revue les diverses parties de ce grand ensemble.

(*) Ces quantités formidables étonnent moins quand on songe à la faible densité relative de la population de Londres, densité qui est environ le tiers de celle de Paris. Toutes choses égales d'ailleurs, le rapport des eaux pluviales aux eaux d'égout doit donc être trois fois aussi grand à Londres qu'à Paris.

Drainage du côté nord.

Collecteur de l'étage haut et Chambre à vannes. — Ce collecteur part du pied de Hampstead Hill, à l'ouest, et aboutit à Old Ford, à l'est. Son parcours est d'un peu plus de 11 kilomètres, et il dessert une surface d'environ 2.600 hectares. Il est circulaire sur la plus grande partie de sa longueur et son diamètre varie de $1^m,20$ à $3^m,40$. Ces dimensions lui permettent d'écouler les plus grosses averses de pluie. Il est construit en maçonnerie, avec une épaisseur variable de 20 à 70 centimètres. Les parties les plus remarquables sont un tunnel de 800 mètres près de Hampstead et la traversée en souterrain de la New-River et du Great-Northern-Railway. Il a coûté 5 millions. La Chambre à vannes, ***Penstock chamber***, a été établie à la jonction des collecteurs haut et moyen, à Old Ford. C'est un vaste réservoir en maçonnerie, de 45 mètres de long, 12 de large et 9 de haut, dans lequel cinq grandes vannes en fer, manœuvrées à la machine, permettent de diriger à volonté les eaux dans deux canaux supérieurs formant la tête de l'émissaire, ou, en cas de grosses pluies, dans deux canaux inférieurs débouchant à la rivière Lea, qui va droit à la Tamise. A l'état normal, ces derniers canaux sont fermés : mais, les jours de forts orages, aussitôt que le niveau du liquide dans le réservoir dépasse l'orifice des canaux supérieurs, le surplus s'échappe par cinq déversoirs et tombe dans les canaux de dessous. On peut encore, en cas d'accident, détourner, en quelques minutes, la totalité des eaux dans la rivière Lea. Par cette disposition simple et nouvelle, on est maître des trois quarts des eaux de la rive nord.

Collecteur de l'étage moyen et embranchement.—On a établi ce collecteur aussi près que possible de la Tamise, afin de réduire au minimum l'aire de l'étage bas, dont les liquides

appellent le secours de la machine à vapeur. Ce collecteur part de Kensal Green et aboutit au point précédemment indiqué, après un parcours d'un peu plus de 15 kilomètres. La surface desservie est de 4.500 hectares. Afin de l'augmenter encore, on a poussé sous Piccadilly un embranchement de trois mille et quelques cents mètres. Les dimensions ne diffèrent pas d'ailleurs sensiblement de celles du collecteur du haut. On a eu seulement à vaincre des difficultés plus grandes, par suite de la configuration et de la nature du terrain. La ligne principale, sur 6 kilomètres et demi, et la branche de Piccadilly, sur toute sa longueur, sont établies en souterrain, la plupart du temps dans la *clay* (formation argileuse), à des profondeurs qui atteignent parfois 18 mètres. Le passage au-dessus du Metropolitan Railway est des plus hardis. Il s'effectue par un aqueduc en fonte, du poids de 244 tonnes et long de 45 mètres, lequel ne domine que d'une vingtaine de centimètres le haut des cheminées des locomotives, ce qui a compliqué singulièrement la construction pour que le trafic ne fût pas entravé (*).

A la rencontre du collecteur avec les principales lignes de thalweg, des moyens de décharge ont été ménagés pour le trop-plein des grosses pluies. Un de ces exutoires transversaux, celui de Ranelagh, qui traverse Hyde-Park et Kensington Gardens, a une longueur de 1.700 mètres et coûte, à lui seul, 800.000 francs. La dépense totale du collecteur s'élève à 8 millions.

Collecteur de l'étage bas et embranchements. — C'est, avons-nous dit, le seul ouvrage qui ne soit pas encore terminé. Son importance exceptionnelle et les difficultés d'exécution l'expliquent. Il se rattache au plan d'endiguement de la

(*) On a commencé par établir l'aqueduc sur une plate-forme, à $1^m,50$ au-dessus de son niveau définitif, puis on l'a descendu doucement, tout d'une pièce, en le faisant glisser parallèlement à lui-même, au moyen de béliers hydrauliques.

Tamise, et, entre les ponts de Westminster et de Blackfriars, il fait partie de la terrasse latérale actuellement en construction. Il dessert directement une surface de 2.800 hectares ; il joue en même temps le rôle d'émissaire pour la division suburbaine de l'ouest, dont la superficie est de 3.700 hectares et dont le niveau est tellement bas que les eaux en devront être remontées à 5^{m},40 pour atteindre la tête du collecteur. La longueur de cette artère et de ses deux branches de Hackney-Wick et de l'Isle des Dogues, dépasse 19 kilomètres : en y ajoutant les lignes de la division suburbaine, on arrive à un total de 29 kilomètres. Au delà de Blackfriars, le collecteur sera mené en souterrain à travers les quartiers les plus populeux de Londres, et il rejoindra le grand émissaire de la rive nord à la station d'Abbey Mills, dont nous parlerons tout à l'heure.

Le réseau suburbain de l'ouest, composé de la ligne principale de Chiswick et des deux branches d'Acton et de Fulham, amène ses eaux aux machines de Chelsea. Pour le moment, elles sont rejetées en rivière par les machines de Cremorne Gardens. Les travaux de cette division, aujourd'hui terminés, et qui n'attendent plus que l'achèvement du collecteur pour être mis en usage, ont rencontré des difficultés extrêmes, par suite de l'énorme quantité d'eau qui imprègne le sous-sol. Aussi la dépense s'est-elle élevée à deux millions et demi. A l'origine, le Conseil métropolitain avait eu la pensée, en vue d'éviter les frais des pompes de Chelsea, de désinfecter ou d'utiliser les eaux dans le voisinage même. Mais, sur la réclamation des habitants, le plan le plus large a prévalu, et le drainage de la métropole a été ainsi préservé de toute atteinte à son admirable unité.

Station d'Abbey Mills. — L'établissement des pompes à feu d'Abbey Mills est le plus considérable en ce genre que comprenne le drainage de Londres. Il renferme huit machines à vapeur d'une force nominale de 1.140 chevaux,

desservies par 16 chaudières. Il a pour objet d'élever à 11 mètres de haut les eaux de l'étage bas, évaluées, pour les moments de maximum, au chiffre énorme de 425 mètres cubes par minute, soit plus de 27.000 mètres cubes par heure. Cet ouvrage, bien que ne fonctionnant pas encore, est aujourd'hui terminé et sa mise en activité ne dépend plus que de l'achèvement du collecteur. Les machines seules ont coûté, une fois posées, près de 1.500.000 francs. Le bâtiment est divisé en trois étages. Celui de dessous, consacré aux puits d'aspiration, recevra directement les eaux du collecteur : celles-ci tomberont dans des cages en fer, dont les grilles intercepteront tous les objets de nature à gêner l'action des pompes (*). Ces cages seront, quand il y aura lieu, remontées à la surface et débarrassées des matières qu'elles auront arrêtées au passage. L'étage du milieu contient le réservoir pour la condensation des machines. L'étage supérieur est la chambre des moteurs. C'est là que fonctionnent tous les mécanismes. Les eaux d'égout y sont relevées par les pompes dans un conduit circulaire

(*) L'enquête parlementaire de 1864, dans laquelle ont comparu les plus grands noms industriels de l'Angleterre, a levé toute espèce de dcute sur l'efficacité de ce système. M. William West, représentant de la célèbre maison West et fils de Saint-Blazey, qui a érigé des pompes à vapeur dans presque tous les pays du monde, interrogé sur la possibilité pratique d'élever les eaux d'égout, a répondu que la seule précaution à prendre était de faire passer ces eaux à travers des espèces de cribles métalliques, en forme de cages ou paniers, qui puissent arrêter « les vieux chiffons, étoffes, chats, chiens et autres objets analogues, » mais que, quant à la boue charriée par les eaux « elle n'obstruait nullement les pompes, » au point que, selon lui, la présence de ces matières en suspension n'entraîne aucune augmentation de dépense. M. West en a fait très souvent, dit-il, l'expérience dans diverses exploitations de terres argileuses où il remonte à la vapeur les eaux chargées de limon, notamment à Saint-Anstell, où le volume n'est pas moindre de 200.000 mètres cubes par an. Or, M. West n'hésite pas à déclarer que les eaux d'égout, dépouillées comme on vient de le dire, ne sont pas plus difficiles à manier que les eaux argileuses (*Report on sewage metropolis*, 1864).

en fonte et de là refoulées dans l'une des branches de l'émissaire.

La dépense annuelle de cette usine sera moindre qu'on ne le supposerait au premier abord d'après la force des machines. Les Anglais en sont arrivés à élever les eaux à très-bas prix. Avec du charbon à 25 francs la tonne, le chiffre de 1 centime par mètre cube élevé à 150 mètres de haut, ou par 150 mètres cubes élevés à 1 mètre, est aujourd'hui un prix courant dans le Royaume-Uni (*). Toutefois les frais, en charbon seulement, ne seront guère inférieurs à 250.000 francs (**). Mais, en regard de cette dépense, ainsi que du coût d'établissement, il est bon de tenir compte de l'économie qui résulte pour l'entretien des égouts : car en rendant dans ces derniers l'écoulement continu, on supprime du même coup les dépôts, et par suite les frais de curage, qui se sont élevés naguère à 750.000 francs pour une seule année.

Émissaire. — Le grand émissaire nord est l'ouvrage le plus coûteux de tout le réseau : il dépasse le chiffre de 16 millions. Son parcours n'est pourtant que de 8.800 mètres ; c'est donc une dépense moyenne de près de 2 millions par kilomètre courant. La raison en est dans le grand nombre de travaux d'art qu'il a fallu effectuer pour la traversée des rivières, des chemins de fer et autres voies de communication. Pour la seule route de Stratford il a fallu

(*) L'enquête déjà citée renferme à cet égard des renseignements intéressants. Les ingénieurs et les industriels les plus autorisés s'accordent à donner les mêmes chiffres, et ils ne reculent devant aucun volume à manier ni devant aucune hauteur à franchir. Leurs pompes ont acquis un tel degré de puissance qu'elles élèvent l'eau à 60 mètres d'un seul coup de piston. Au delà de ce chiffre ils conseillent de fractionner l'ascension ou d'établir des relais.

(**) M. Basalgette fait remarquer spirituellement qu'il est heureux pour ces travaux qu'on ne les ait pas projetés en 1306, époque où le charbon minéral était tenu pour si nuisible que la noblesse de Londres obtint un édit royal qui en prohibait l'emploi.

acheter une grande quantité de terrain, afin d'élever la route sur un viaduc et de permettre ainsi à l'émissaire de continuer son cours en dessous.

L'émissaire commence, avons-nous vu, à Old Ford, à la jonction des collecteurs haut et moyen ; mais il n'est réellement complet qu'à partir d'Abbey Mills, où il reçoit en plus les eaux de l'étage bas. Entre ces deux points, il consiste en deux lignes de canaux rectangulaires, de 7 mètres quarrés de section, placés côte à côte, et contenus dans un large massif en maçonnerie, dont les fondations ont dû être poussées à une grande profondeur. Ce massif a été construit de façon à pouvoir, au besoin, supporter un chemin de fer ou quelque autre grande voie publique. La rivière Lea et divers petits cours d'eau sont franchis avec des aqueducs en fonte. A la traversée sous la route de Stratford, afin de gagner le plus possible sur la hauteur, on a remplacé les deux grands conduits par quatre autres plus petits, ayant chacun $2^m,20$ de large et $1^m,80$ de haut.

Au delà d'Abbey Mills et jusqu'à Barking Creek, l'émissaire comprend trois canaux, un pour chaque collecteur. Toutefois, un système de vannes et de déversoirs permet de diriger à volonté les eaux dans l'un ou l'autre de ces canaux, de façon à empêcher qu'aucun d'eux ne travaille à charge forcée. Les traversées de Channelsea River et surtout des chemins de fer de North Woolwich, de Bow et de Barking ont rencontré de grandes difficultés. Il a fallu abaisser le niveau de ces derniers pour que l'aqueduc les franchisse en dessus, attendu que la faible pente uniforme de 38 centimètres par kilomètre, à laquelle on était réduit pour l'émissaire, ne permettait pas de l'accommoder aux divers niveaux des ouvrages déjà existants.

Les trois bouches de l'émissaire arrivent à Barking, perpendiculairement à la direction de la Tamise, et le long d'un des côtés du réservoir, avec lequel une communication facultative est créée au moyen de 16 ouvertures la-

térales. Le radier de l'émissaire est à 45 centimètres environ au-dessous de la haute mer. Mais avant d'entrer en rivière les eaux d'égout tombent par dessus un déversoir, à une profondeur de 4^{m},80, et sont déchargées par 9 conduits situés au niveau de la marée basse et dont nous parlerons plus tard. Pour prévenir cet écoulement direct et détourner les eaux dans le réservoir, il suffit de lever les vannes qui ferment les trois bouches de l'émissaire et d'abaisser celles qui garnissent les seize ouvertures latérales. On peut ainsi, à volonté, opérer la décharge soit directement par l'émissaire, soit en passant par le réservoir, soit par les deux moyens à la fois. On a voulu ainsi se mettre à l'abri d'un accident possible du réservoir, et en même temps faire face aux abats d'eau exceptionnels, pour lesquels le réservoir seul serait insuffisant.

Réservoir de Barking Creek. — Cet ouvrage mérite une mention particulière à cause du rôle capital qu'il joue dans l'économie générale du système. C'est, du reste, une œuvre remarquable, aussi bien par son installation que par la manière simple et ingénieuse dont elle fonctionne. Son coût d'établissement s'éloigne peu de 4 millions et demi.

Le réservoir occupe une superficie de près de 4 hectares (Pl. V, 1). Il est situé presque entièrement au-dessous du niveau général du sol. Il est recouvert par des arches en maçonnerie sur lesquelles a été étendue une couche de terre gazonnée, si bien qu'à quelque distance rien ne trahit l'existence de cet ouvrage d'art. Il est divisé en quatre compartiments indépendants, au moyen de trois murs transversaux, dirigés de l'ouest à l'est, et dont les deux plus rapprochés des extrémités, c'est-à-dire ceux qui séparent, d'une part, les compartiments 1 et 2, et, d'autre part, les compartiments 3 et 4, sont constitués par des cloisons doubles, ayant chacune 0^{m},55 d'épaisseur, et comprenant entre elles un vide de 1^{m},20. Ces murs s'élèvent à 4^{m},20

au-dessus du fond, de telle sorte que si l'on suppose le liquide du réservoir atteignant la hauteur de $4^{m},20$, ces murs deviennent des espèces de déversoirs par dessus lesquels le surplus du liquide tomberait dans le vide intérieur. Les murs du réservoir, tant extérieurs qu'intérieurs, sont entièrement en maçonnerie de briques; le seuil est pavé avec de la pierre du Yorkshire; le tout est supporté par une forte assise de béton, qui, vu l'inconsistance du sol, a dû être poussée à une profondeur de 6 mètres sous le seuil. La hauteur sous arche est de 5 mètres, mais la hauteur utile, c'est-à-dire celle à laquelle peut monter le liquide, n'est, nous venons de le dire, que de $4^{m},20$. La capacité disponible est de 154.000 mètres cubes : elle a été calculée de façon à ce que, la décharge en rivière n'ayant lieu que pendant deux heures à chaque marée, les eaux d'égout pussent être accumulées le reste du temps dans le réservoir, c'est-à-dire pendant près de dix heures consécutives. Le volume débité normalement par la ville pendant cette période devant être d'environ 118.000 mètres cubes, la capacité réservée aux eaux de pluies pendant le même temps n'est que de 36 mille mètres cubes, chiffre un peu insuffisant : ce qui obligera parfois à avancer l'heure de l'écoulement en rivière. La raison de cette insuffisance vient de ce qu'au début des travaux on s'était proposé de ne pas convoyer à Barking les liquides de la division suburbaine de l'ouest, lesquels figurent dans le total pour 18 à 20 p. 100. Du reste, le réservoir est disposé de façon à ce qu'on puisse facilement l'agrandir sans y faire beaucoup plus de dépenses qu'on n'en aurait supportées à l'origine. Expliquons maintenant les agencements de ce vaste appareil.

A l'ouest du réservoir et parallèlement à l'un de ses longs côtés, les eaux d'égout arrivent par les trois branches de l'émissaire. Ces branches sont reliées entre elles par 16 conduits transversaux qui se prolongent vers le réservoir, jusqu'à l'aplomb d'une sorte de compartiment étroit,

nommé *trough* (auge), ménagé entre le massif du réservoir et celui de l'émissaire. Ce compartiment a pour longueur la longueur même du réservoir ; sa largeur est de $1^m,80$ et sa profondeur totale de $7^m,85$. Son fond est situé à $2^m,85$ en contre-bas de celui du réservoir. Il communique avec ce dernier au moyen de 16 ouvertures pratiquées sur la longueur du mur séparatif et débouchant au niveau du seuil du réservoir. Les eaux d'égout étant, comme on a vu, empêchées pendant dix heures sur douze de s'écouler directement dans la Tamise, tombent dans le *trough*, où elles ne tardent pas à s'élever jusqu'au niveau des ouvertures du réservoir : elles pénètrent alors dans ce dernier, et tout le système s'emplit graduellement à concurrence de la capacité utile, c'est-à-dire jusqu'à la hauteur de $4^m,20$ dans le réservoir. A partir de ce point, le surplus des eaux s'échappe par les murs creux dont nous avons parlé tout à l'heure. Ces murs prolongés à travers le *trough*, qu'ils divisent par conséquent en compartiments correspondants à ceux du réservoir, viennent s'appuyer sur la façade opposée du *trough*, où ils rencontrent des ouvertures qui donnent issue aux eaux circulant dans l'intérieur des cloisons. Elles débouchent dans un réservoir supplémentaire nommé *special*, lequel est établi au-dessous des branches de l'émissaire et a son seuil à $2^m,40$ en contre-bas de celui du réservoir principal ; la longueur de ce réservoir est la même que celle du réservoir principal, sa largeur est de $13^m,50$ et sa hauteur sous arche de $3^m,40$. Indépendamment des ouvertures correspondant aux murs creux, la même façade du *trough* est pourvue, en outre, de 16 orifices établissant la communication directe entre le *trough* et le *special*, et faisant vis-à-vis à celles qui rétablissent la communication du *trough* avec le réservoir principal. En résumé, le *trough* communique à volonté par 16 orifices avec chacun des deux réservoirs, et, de plus, le réservoir principal peut communiquer avec le *special* au moyen des deux cloisons creuses qui traversent le

trough sans communiquer avec lui. On peut dire aussi que le réservoir principal communique avec le *special*, soit par l'intermédiaire du *trough*, soit directement sans emprunter ce dernier. Enfin, pour clore cette description, disons que le *special* est en relation directe avec la Tamise par les neuf canaux auxquels nous avons fait allusion en parlant de l'émissaire, lesquels sont établis au niveau de la marée basse et poussés sous l'eau jusqu'au milieu du fleuve, afin que les impuretés soient déchargées au sein de la plus grande masse possible de liquide et dans les conditions les plus favorables à un mélange intime avec elle.

Le jeu de l'appareil est maintenant facile à saisir :

En dehors du temps consacré à l'écoulement en rivière, les communications du *trough* avec le *special* sont tenues fermées, tandis que celles du *trough* avec le réservoir principal sont ouvertes. Les eaux amenées par l'émissaire tombent dans le *trough*, et de là gagnent le réservoir où elles atteignent un niveau habituellement inférieur à celui des cloisons-déversoirs. S'il en était autrement, nous avons vu comment le *special*, agissant comme réservoir supplémentaire, y ferait face. Le moment de la vidange venu, il suffit d'ouvrir les conduits de décharge du *special* ainsi que les orifices de communication du *trough* avec le réservoir principal; en même temps on ferme les bouches latérales de l'émissaire, de sorte que celui-ci s'écoule directement à la Tamise pendant que le réservoir se vide. Ces manœuvres s'effectuent d'une manière simple et rapide, à l'aide de vannes gouvernées du dehors.

Il est encore un point important auquel le système pourvoit : c'est le curage. On le réalise au moyen d'un canal latéral, nommé *flushing culvert*, de 1^{m},70 de large sur 1^{m},80 de haut, lequel s'étend parallèlement à l'émissaire, le long du côté Est du réservoir, et dont le seuil est à 1^{m},15 en contre-haut du seuil du réservoir. Ce canal peut se remplir d'eau pure à la marée montante et commu-

nique avec chacun des compartiments par des orifices qui se démasquent à volonté. Se propose-t-on de nettoyer l'un quelconque des compartiments? Les bouches latérales de l'émissaire, correspondant à ce compartiment, restent alors fermées, pendant que les autres parties du réservoir se remplissent comme à l'ordinaire; deux heures environ avant la basse mer, on ouvre la communication avec le *flushing* et on précipite l'eau qui est demeurée emprisonnée dans ce dernier : le flot balaie vivement le seuil du compartiment et entraîne dans le *special* et de là dans la Tamise toutes les impuretés qui le souillaient. Au besoin on peut nettoyer ainsi tous les compartiments à la fois : il suffit de fermer toutes les bouches latérales de l'émissaire et de laisser celui-ci se décharger directement dans le fleuve.

Drainage du côté sud.

Collecteurs des étages haut et moyen. — Le collecteur de Clapham et sa grande branche de Dulwich sont, à proprement parler, les collecteurs haut et moyen de la rive sud. Ils desservent à eux deux une surface de plus de 5.000 hectares et ont coûté 6 millions. On leur a donné des dimensions suffisantes pour intercepter toutes les eaux météoriques provenant des terrains environnants et pour préserver les bas quartiers soumis jusque-là aux inondations. La section du collecteur varie depuis $1^m,35$ sur $0^m,90$, à l'origine, jusqu'à $3^m,15$ sur $3^m,15$, à l'autre extrémité; la section de l'embranchement, circulaire d'abord, et au diamètre de $2^m,10$, devient ensuite pareille à celle du collecteur. Ces deux canaux sont justaposés et réunis dans le même massif à partir de New Cross Road, jusqu'à la rivière de Deptfort Creek qui, dans les jours de grosses averses, sert à soulager l'émissaire en écoulant directement une partie des eaux dans la Tamise. A cet effet chacun des deux collecteurs est pourvu de deux vannes mobiles situées l'une au-dessus de l'autre : la vanne inférieure est habituellement

fermée et se comporte alors comme un barrage par dessus lequel l'eau s'échappe et entre dans un aqueduc formé de 4 tubes métalliques de 1m,50 de diamètre chacun, lesquels servent à conduire les eaux sous Deptford Creek jusqu'à l'émissaire. Quand l'abondance des liquides dépasse une certaine limite, on ouvre plus ou moins la vanne inférieure, qui donne ainsi une libre issue dans la rivière. Au besoin, on peut par ce moyen interdire entièrement l'accès dans l'aqueduc et détourner toute l'eau en Tamise. A ces deux grandes lignes se rattachent quelques embranchements secondaires qui n'offrent rien de particulier. La principale difficulté des travaux s'est concentrée sur la ligne de Dulwich, qui, en certains points est enterrée à 15 mètres de profondeur dans un sol éminemment ébouleux.

Collecteur de l'étage bas. — Ce canal, d'environ 16 kilomètres de long commence à Putney et draine une surface de 5.000 hectares, dont la plus grande partie est au-dessous du niveau de la haute marée, parfois même de 1m,50 à 1m,80 en contre-bas. C'est un ancien lit de la Tamise. Les anciens égouts y ont naturellement très-peu de pente, en sorte qu'après de longues pluies ils étaient insuffisants pour le dégorgement à la basse mer : de là, stagnation continue de liquides impurs, envahissement des caves, odeurs pestilentielles etc. Les statistiques mortuaires montrent que ces quartiers étaient décimés par les épidémies. Cette situation a appelé les méditations des plus grands ingénieurs de l'Angleterre. Elle a inspiré à Robert Stephenson et à William Cubitt le fameux projet dans lequel ces hommes éminents s'engageaient à obtenir, au moyen de pompes à vapeur, le même résultat qu'en élevant de 6 mètres le sol de tout le district. Cette solution qui causa au début tant de surprise est justement celle qui a fini, avec raison, par prévaloir, et c'est elle que le Conseil métropolitain vient tout récemment de réaliser.

Le collecteur ainsi construit consiste en un conduit circulaire de 1^{m},20 de diamètre, à l'origine, lequel se bifurque ultérieurement en deux canaux rectangulaires dont la section variable atteint 4^{m},50 à l'autre extrémité. Il recueille la branche Bermondsey, d'un peu plus de 4 kilomètres, qui dessert les quartiers les plus voisins de la Tamise. On a éprouvé de grandes difficultés pour passer sous le Greenwich Railway ainsi que sous Deptford Creek, à cause de l'énorme quantité d'eau qu'il a fallu épuiser et qui a été, par moments, de 2.000 mètres cubes à l'heure. L'ensemble des travaux de cet étage a coûté près de 8 millions.

Station de Deptford. — Les collecteurs se réunissent à Deptford, un peu au delà de Deptford Creek, où commence l'émissaire de la rive sud. Les eaux de la région supérieure s'écoulent par la seule gravitation; celles de la région inférieure ou de l'étage bas doivent, comme nous avons vu, être remontées à 5^{m},40. Quatre machines à vapeur, de la force de 125 chevaux chacune, sont affectées à ce travail. Au besoin, marchant ensemble, elles peuvent élever 5 mètres cubes à la seconde, ou 18.000 mètres cubes à l'heure. Les eaux sont déchargées par les pompes dans un aqueduc en fonte, situé au niveau de l'émissaire, et qui est également en relation avec le canal d'amenée des liquides de l'étage supérieur. Au bas des pompes, des grilles sont interposées pour arrêter les substances pouvant nuire aux mécanismes. L'édifice, avec ses dépendances, a coûté 2.750.000 francs et les machines 700.000 francs, soit en tout, pour la station, environ 3 millions et demi.

Emissaire. — C'est une œuvre très-considérable dont la dépense s'est élevée à près de 8 millions. L'émissaire consiste en un canal circulaire en maçonnerie, de 3^{m},50 de diamètre, qui part de Deptford, passe sous Greenwich et Woolwich, et aboutit à Crossness Point, à 3 kilomètres en

aval de Barking Creek, après un parcours de 12 kilomètres. Les difficultés de construction ont été grandes. La profondeur moyenne sous le sol est de 5 mètres, mais sous Woolwich il a fallu descendre à 15 mètres et même, en certains points, à 23 mètres. Vers Crossness, on a eu à lutter contre un obstacle d'un autre genre, contre les eaux recélées par les terrains d'Erith Marshes, lesquels faisaient autrefois partie du lit de la Tamise. A son arrivée à Crossness, l'émissaire se comporte d'une manière analogue à celle de l'émissaire nord, c'est-à-dire que les eaux peuvent, à volonté, être évacuées directement à la Tamise, ou être détournées dans le réservoir. Il est à remarquer toutefois que le radier de l'émissaire, à son embouchure, étant de $2^m,75$ au-dessous des eaux, la décharge directe en rivière ne peut guère avoir lieu qu'à la marée basse, ce qui, avons-nous vu, a le grand inconvénient de faire revenir les impuretés vers Londres sous l'influence du flot ascendant. Aussi n'use-t-on de ce moyen que dans le cas d'absolue nécessité et emploie-t-on exclusivement, à l'ordinaire, l'évacuation par le réservoir, à l'aide d'une batterie de machines qui rachète l'insuffisance des niveaux.

Réservoir et pompes à feu de Crossness. — Ce réservoir est situé au même niveau que celui de la rive nord. Il est, comme lui, destiné à retenir les liquides, sauf pendant les deux heures d'écoulement à la marée haute. Les machines au nombre de 4, de 125 chevaux chacune, interposées entre le réservoirs et l'émissaire, prennent les eaux dans les puits d'aspiration et leur font franchir un saut dont l'amplitude varie de 3 à 9 mètres, selon la hauteur des eaux dans l'émissaire et dans le réservoir lui-même. Ce que nous avons dit du réservoir du nord nous dispense d'entrer ici dans de plus longs détails : on aperçoit sans peine comment les choses doivent se passer. Bornons-nous à mentionner la superficie du réservoir, qui est de

2 hectares,6, et la capacité utile, qui est de 114.000 mètres cubes : on voit qu'elle est relativement bien plus considérable que celle du réservoir nord. Les fondations ont été très-onéreuses, à cause de la nature du terrain : elles ont dû être poussées à près de 8 mètres de profondeur. Afin de restreindre les frais le plus possible, on a eu soin de réunir dans le même massif vertical les canaux pratiqués à divers niveaux. C'est ainsi que l'aqueduc allant de l'émissaire aux puits d'aspiration, lequel est le plus bas, supporte les aqueducs qui communiquent du réservoir à la Tamise, et ces derniers, à leur tour, supportent ceux qui vont des pompes au réservoir. Nonobstant cette combinaison, la construction du réservoir et du bâtiment des machines, non compris l'achat de ces dernières, n'en a pas moins coûté plus de 7 millions et demi.

Tel est, dans ses traits généraux, le système qui fonctionne aujourd'hui dans la capitale du Royaume-Uni, et qui l'a mise pour toujours à l'abri des maux sans nombre qu'enfantait le voisinage des matières corrompues. Ce système, qui comprend 132 kilomètres de grands canaux couverts, quatre établissements de pompes à vapeur, 2.380 chevaux de force, deux immenses réservoirs, aura coûté huit ans de travaux, précédés de dix ans de luttes et d'efforts, et 105 millions de francs (*). Mais, quelque grand qu'ait été le sacrifice, on le trouvera encore léger si on le met en balance des immenses avantages qu'en retire pour son bien-être une population de près de 4 millions d'âmes. L'atmosphère de Londres s'est purifiée et éclaircie, le sol est devenu plus sec, le fleuve a repris de sa limpidité, et déjà les statistiques constatent que, dans les quartiers bas surtout, la mortalité diminue (**). Aussi, les habitants

(*) C'est à peu près 800.000 francs par kilomètre de canal, tout compris.

(**) Nul doute que si l'épidémie cholérique de 1866 a été si peu

acquittent-ils avec joie la taxe annuelle de 3 deniers par livre (*), qui est destinée à servir les intérêts de la dette et à l'éteindre au bout de quarante ans.

DEUXIÈME PARTIE.

EMPLOI DES EAUX D'ÉGOUT.

La solution que nous venons d'indiquer n'était pas complète, en ce sens qu'on n'avait tenu compte jusque-là que d'un côté de la question : la salubrité publique. Mais il existait un autre point de vue, non moins important : celui de l'intérêt agricole. Devait-on perdre sans retour les matières fertilisantes contenues dans les eaux d'égout? Devait-on gaspiller ainsi une richesse considérable? Devait-on, ce qui est plus grave encore que le sacrifice immédiat de plusieurs millions, enlever graduellement au sol les éléments nécessaires à la production, éléments dont la valeur s'accroîtrait sans limites, si la terre continuait de plus en plus à s'appauvrir? Telles sont les questions qu'on s'est posées en Angleterre, non-seulement pour la ville de Londres, mais d'une manière générale pour tout centre de population. A ces questions, l'opinion publique a répondu d'une voix unanime : « Non, les « matières fertilisantes ne doivent point être perdues pour « la production. Non, elles ne doivent point être abandon- « nées à la mer; mais elles doivent faire retour au sol d'où « elles émanent et contribuer ainsi à la prospérité géné- « rale. »

Quant à la valeur même des eaux d'égout, estimées commercialement, les appréciations ont beaucoup varié. Les plus modérés la fixent à 5 centimes le mètre cube, rendu

---

meurtrière à Londres, on n'en soit redevable en grande partie à l'exécution du *main drainage*.

(*) Soit 1f,20 par 100 francs de matière imposable.

aux lieux d'arrosage, tandis que certains ne craignent pas d'aller jusqu'à 30 centimes. Pour une ville comme Londres, qui évacue 400.000 mètres cubes de liquides par jour, ces chiffres correspondent respectivement à 7 millions et 45 millions de francs (Note *c*). La raison d'aussi grandes divergences tient à ce qu'on ne se place pas au même point de vue quand on fait cette évaluation. Les uns supposent en effet que l'eau d'égout est employée à la convenance du cultivateur, c'est-à-dire au moment et dans la proportion qu'il lui plaît; les autres, au contraire, qu'elle est répandue sur les terres en proportion quelconque et en toute saison, de manière à satisfaire avant tout aux exigences de la salubrité. Or, s'il est une vérité qui ait été mise hors de doute, par toutes les enquêtes qui se sont succédées sur la question, c'est précisément que la valeur commerciale de l'eau d'égout varie beaucoup, on peut presque dire, du tout au tout, selon qu'elle est employée de la première façon ou de la seconde. Cette valeur, presque nulle dans un cas, peut s'élever à 20 centimes et au delà dans l'autre cas (*). Mais si les évaluations ont différé, tout le monde, disons-nous, a été d'accord pour reconnaître qu'il y avait

(*) Pour M. Lawes, prendre l'eau d'égout quand et comme on veut ou la recevoir tout le long de l'année et comme elle vient, c'est une différence de plus du simple au quadruple. « J'aimerais « mieux, dit-il, donner 2 deniers (20 centimes) par tonne dans un « cas que 1/2 denier (5 centimes) dans l'autre. » (Enquête de 1864.) Divers agriculteurs, entendus dans l'enquête de 1864 ou dans celle de 1865, ne sont pas moins explicites. M. Archibald Campbell, après avoir accepté le chiffre de 2 deniers par tonne, ajoute : « Si j'étais « forcé de prendre une grande quantité d'eau d'égout toute l'année, « cela ne me conviendrait pas : si je le faisais, je ne voudrais pas « la payer plus d'un farthing (1/4 denier) à 1/2 denier la tonne. » (Enquête de 1865.) M. Frédéric Wagstaff « consentira bien, dit-il, « à payer l'eau d'égout de Londres 2 deniers, mais en supposant « qu'il puisse la prendre au moment même où elle lui serait le plus « utile, et en telle quantité que de besoin, et non aux autres épo- « ques de l'année » (même enquête); et ainsi de suite des autres témoins entendus.

là une richesse réelle, et qu'il était d'une impérieuse nécessité de l'utiliser. Telle a été l'origine de la seconde solution, que nous avons maintenant à faire connaître.

Nous ne retracerons pas l'histoire, si intéressante cependant, des phases qu'a subies l'étude du problème dans ces dernières années. Il est peu de sujets qui aient autant remué l'opinion publique et qui aient provoqué plus de travaux. Le Parlement l'a pris en main : il l'a soumis à une enquête qui n'a pas duré moins de quatre années (de 1862 à 1865), et où tous les avis ont été appelés à se produire, tandis qu'une série d'expériences pratiques se poursuivait à Rugby, sous l'œil d'une commission composée des hommes les plus compétents (*). De ce vaste ensemble de recherches sont sortis de précieux enseignements. Nous ne retenons ici que les conclusions générales, qui ont inspiré le projet d'irrigations actuel. Nous les citons textuellement, telles qu'elles sont consignées aux documents officiels (**).

« Il ne peut y avoir de doute sur les dommages qui résultent de la pratique généralement suivie de décharger « les liquides d'égout et autres résidus aux rivières où les « populations viennent s'alimenter. Ces liquides sont en « outre une cause de mort pour le poisson et diminuent « ainsi considérablement les moyens de subsistance des « habitants.

« Il a été décidé que l'envoi de ces liquides aux cours « d'eau constitue une atteinte au droit commun.

« Il est d'absolue nécessité qu'une telle pratique cesse.

« On n'a découvert aucun moyen artificiel efficace pour

(*) Cette commission, dont les travaux ont commencé en 1861, était, en mars 1865, ainsi composée : Lord Essex, M. Robert Rawlinson, le professeur Thomas Way, M. G. B. Law, le docteur John Simon.

(**) Voir les enquêtes de 1862 sur les eaux d'égout des villes, ainsi que les rapports de la commission d'expériences de Rugby. Voir surtout le *Report from the select committee on sewage (metropolis)*, 1864.

« rendre potable ou pour approprier aux usages culinaires « l'eau qui a été une fois souillée par les liquides d'égout. « Les procédés connus, mécaniques ou chimiques, ne peu- « vent produire qu'une désinfection partielle : une telle eau « est toujours susceptible d'entrer de nouveau en putréfac- « tion. L'eau qui à l'œil paraît le mieux purifiée, par filtra- « tion ou autrement, peut, sous certaines conditions, en- « gendrer des épidémies graves au sein des populations « qui en font usage. Au contraire, le sol et les racines des « plantes à végétation active ont un grand pouvoir pour « débarrasser rapidement les eaux d'égout des impuretés « qu'elles contiennent et pour les rendre désormais tout à « fait inoffensives. La seule alternative qui reste donc est « de répandre les liquides d'égout sur les terres.

« Il est non-seulement possible de les utiliser en les ame- « nant dans la campagne par un système de tuyaux et de « conduites, mais même une telle entreprise peut devenir « une source de bénéfices pour les villes qui disposent ainsi « de leurs résidus.

« Ce bénéfice peut, en quelques années, augmenter con- « sidérablement : car déjà aujourd'hui, la quantité d'engrais « artificiels est insuffisante et les sources des plus importants « seront bientôt épuisées. Il faut donc recourir à des moyens « nouveaux pour fertiliser les terres.

« Le drainage de la métropole réclame comme complé- « ment, dans le plus bref délai possible, l'adoption d'un « système qui puisse convertir un élément nuisible en une « source permanente de fertilité. »

Ainsi la solution à intervenir était marquée d'avance dans son trait essentiel : elle devait consister dans l'emploi des eaux d'égout, *à l'état naturel*, pour l'arrosage des terres cultivées (*).

(*) L'emploi des eaux *à l'état naturel* est un des points les plus fermement établis en Angleterre. L'intérêt de la salubrité publi-

Le principe de l'irrigation admis, un grand nombre de

---

que et l'intérêt agricole se sont montrés d'accord pour proscrire absolument *tout* mode de préparation préalable des liquides. La séparation des matières fertilisantes, obtenue par voie mécanique ou chimique, constitue à la fois, selon nos voisins, une manière moins économique d'utiliser les eaux et un procédé moins efficace d'assainissement. Déjà, avant l'enquête dont nous nous occupons plus spécialement ici, les docteurs Franckland et Hoffmann, appelés, en 1859, à formuler leur avis sur le traitement chimique des eaux d'égout, avis basé sur les plus larges expériences faites pour le compte de la ville de Londres, avaient déclaré que les opérations de cette espèce doivent être conduites aussi loin que possible des districts populeux; « car, disaient-ils, les matières une fois séparées « des eaux, même désinfectées, passent rapidement, dans les temps « chauds, à un état de putréfaction active.... La tendance putres- « cible des matières séparées rend leur rapide enlèvement de la « plus haute importance, surtout pendant l'été. Le travail de la « fermentation, une fois commencé, ne peut plus être arrêté que « par des masses de désinfectants pratiquement impossibles. » (Rapport au Conseil métropolitain des travaux.)

Devant le Comité d'enquête de 1862 *on sewage of towns*, le docteur Hoffmann a été plus affirmatif encore. « Il résulte, dit-il, « de nos expériences que tous les plans conçus pour utiliser les « eaux d'égout, excepté celui qui consiste à les employer en irri- « gations, portent en eux-mêmes la preuve de leur impraticabilité. »

« Les méthodes de précipitation des eaux d'égout, dit le profes- « seur E. Way, n'ont jamais donné des résultats qui payent la « somme dépensée... C'est une erreur d'opérer la séparation des « eaux d'égout en deux parties. » (Même enquête.) « Mon opinion, « dit le docteur Franckland, est que la seule méthode pour employer « les eaux d'égout considérées comme engrais, c'est de les appli- « quer directement sur les terres, avec ou sans désinfection préa- « lable, mais, s'il est possible, sans désinfection. » (Même enquête.) Selon M. Lawes, « l'emploi de l'eau d'égout à l'état naturel est « la meilleure manière de l'appliquer aux terres. » (Enquête de 1865.) « L'engrais des villes, dit le docteur Odling, doit être ap- « pliqué aux terres en l'état où il existe dans les égouts. » (Même enquête.) « Pour les convertir (les éléments fertilisants des eaux « d'égout) en matière solide, dit le baron Liebig, il faut une dé- « pense supérieure à la valeur qu'on en retirerait pour la produc- « tion. L'application de l'eau d'égout sur les terres offre véritable- « ment le seul moyen d'utiliser les matières fertilisantes qu'elle « contient. » (Lettre au lord maire de Londres, du 19 janvier 1865.)

Les faits, du moins en Angleterre, ont confirmé ces appréciations : car partout où l'on a cherché à séparer les matières fertilisantes

projets ont été mis en avant, en vue de la réaliser (*). Le Conseil métropolitain, naturellement saisi de la question, en confia l'examen à un comité de vingt et un membres, présidé par M. J. Thwaites, avec mission d'étudier sur les lieux les principales applications d'eaux d'égout actuellement en cours en Angleterre. Le comité visita Rugby, Croydon, Carlisle, Edimbourg, et fournit un rapport fort intéressant, dont nous donnons des extraits à la Note *d*, à la suite duquel le Conseil se décida en faveur du projet de MM. W. Napier et W. Hope, tendant à l'utilisation des eaux d'égout de la rive nord. Le Parlement, qui avait à prononcer en dernier ressort, nomma, en 1865, un comité d'enquête, qui, à la date du 30 mars, déposa un rapport dont la conclusion est celle-ci : « Votre comité est d'avis que le projet qui lui a été « soumis constitue un mode avantageux et profitable d'em- « ployer l'eau d'égout de la partie nord de la métropole, « et il n'a pas de raison de penser qu'aucun autre projet « plus avantageux ou plus profitable puisse être conçu. » En conséquence de cette haute approbation, un acte législatif intervint, le 19 juin 1865, en vertu duquel la Compa-

---

contenues dans les eaux d'égout, on a reconnu que le résultat obtenu était déplorable au point de vue commercial, en même temps qu'on avait créé aux portes des villes un foyer permanent d'infection. Sur les rares points où de semblables procédés sont encore en vigueur, on en donne pour raisons une installation toute faite et la difficulté qu'offrirait le terrain à la création économique d'irrigations agricoles. Mais l'opinion n'en est pas moins définitivement fixée à cet égard, et, aujourd'hui, dans le Royaume-Uni, on n'admettrait pas plus la discussion sur ce point que sur la question de savoir s'il y a lieu de revenir aux anciennes fosses d'aisance. Ce sont des débats qui, pour les Anglais, sont jugés sans appel.

(*) Voici les noms des auteurs des principaux projets : Dr. Thudichum; M. D. Curwood; Lord Torrington, Sir C. Fox et M. Hunt; M. John James Moore; *London sewage utilization Company;* M. Shepherd; M. C. F. Kirkman; M. T. Ellis; Hon. W. Napier et M. W. Hope.

Nous croyons inutile d'analyser ces projets qui à l'exception du dernier, n'ont plus qu'un intérêt historique.

gnie du *Metropolis sewage and Essex reclamation*, exécutrice de l'œuvre de MM. Napier et Hope, fut définitivement constituée. Les travaux, commencés il y a quelques mois, sont aujourd'hui poussés avec une grande activité. Ainsi, la pensée hardie d'utiliser les déjections de la grande cité, regardée naguère encore comme une utopie, est désormais sortie du domaine de la théorie et sera bientôt passée à l'état de fait accompli.

Sur la rive sud, la solution est moins avancée, mais elle ne saurait se faire attendre. Déjà, plusieurs propositions ont été faites au conseil métropolitain (*) : il les examine en ce moment, et tout porte à croire qu'en 1867 une décision sera prise. Nous croyons savoir que MM. W. Napier et Hope se sont mis, en dernier lieu, sur les rangs, et qu'ils espèrent obtenir du Parlement un acte de concession dans la prochaine session. L'expérience qu'ils ont acquise sur la rive nord les rend plus aptes que personne à mener à bien l'entreprise de la rive sud.

Examinons le plan de la Compagnie du *Metropolis sewage*.

Cette Compagnie se propose un double but :

1° Arroser des terres actuellement en culture;

2° Reprendre sur la mer des plages de sable stériles et les fertiliser en y déversant le surplus des eaux.

Cette dualité d'opérations a une extrême importance. Elle constitue le trait original du plan de MM. Napier et Hope, et elle en établit la supériorité sur ceux de tous leurs rivaux. C'est elle, en effet, comme nous le verrons plus tard, qui donne la garantie du bon emploi des eaux *en tous temps* et qui, par suite, en assure la valeur, puisque, avons-nous dit, l'eau d'égout n'a sa vraie valeur qu'à la condition fondamentale qu'on en fasse usage selon les

(*) Notamment par MM. Rigby Wason, Georges Shepherd, C. F. Kirkman, B. Smith, Th. Ellis, etc.

convenances de la culture, et non selon les exigences de la salubrité. Or la première objection que fait naître toute entreprise d'irrigation par l'eau d'égout, c'est précisément qu'on est exposé à ne pouvoir respecter les convenances de la culture, à moins de se résigner d'avance à perdre une grande partie de l'eau disponible : car, à certaines époques de l'année, l'état de la végétation ou les circonstances atmosphériques ne permettent pas aux agriculteurs de recevoir l'engrais liquide, sans parler même de la répugnance que plusieurs d'entre eux peuvent éprouver à se servir d'une eau dont ils n'apprécient pas encore tous les bons effets. Mais, d'un autre côté, le flot de la ville ne souffre point d'arrêt, c'est une source toujours ouverte, d'autant plus abondante même, que la saison est plus humide et que, par suite, les terres sont moins aptes à l'absorber. On paraît donc placé dans l'alternative ou de perdre à la mer une partie des liquides fertilisants, ou d'imposer aux agriculteurs l'obligation de les employer à toute époque et en quantité indéterminées ; deux solutions également défectueuses : la première, parce qu'elle est incomplète, la seconde, puisqu'elle compromet gravement la valeur commerciale de l'engrais. En outre, circonstance qui ici compliquait encore le problème, on n'aurait pas vu de bon œil en Angleterre une société qui n'aurait pas admis le public à user de l'eau d'égout. Il fallait donc trouver une combinaison qui, tout en laissant aux agriculteurs la faculté de profiter à leur convenance du nouvel engrais, permît cependant de se passer au besoin de leur concours, de telle façon que, quelle que fût leur participation, le bon emploi de l'eau fût toujours assuré.

Telle est la pensée fondamentale du projet de MM. Hope et Napier ; telles sont les conditions complexes auxquelles ils ont satisfait pleinement, comme nous le verrons, au moyen de la dualité d'opération que nous signalions tout à l'heure.

L'ensemble des travaux peut être divisé en deux groupes distincts, qui correspondent précisément à ces deux ordres d'opérations, savoir : 1° les canaux d'amenée des eaux, avec leurs accessoires, ayant pour objet l'arrosage des terres cultivées ; 2° les travaux d'endiguement, de desséchement et autres, ayant pour objet la conquête et la fertilisation des sables destinés à recevoir le surplus des eaux. Nous décrirons successivement chacun de ces deux groupes, en expliquant en même temps les pratiques agricoles qui s'y rattachent (*).

1° *Arrosage des terres cultivées.*

Aqueduc de dérivation. — Les eaux d'égout de la métropole sont dérivées à Barking Creek (**), au moyen d'un grand aqueduc en maçonnerie, construit sur le modèle de l'émissaire de la rive nord. Il est de forme circulaire, au diamètre de 3 mètres, et repose sur une solide base en béton. Il s'embranche sur les ouvrages de la ville en deux endroits : 1° sur l'émissaire même, de façon à prendre les eaux immédiatement avant leur entrée dans le réservoir et à un niveau de 0m,45 au-dessous de la haute mer ; 2° sur le bassin de sortie que nous avons nommé le *special*, à un niveau de 4m,95 au-dessous du précédent, ou de 5m,40 au-dessous de la marée haute ; cette dernière prise est ménagée en vue des averses.

(*) Les plans de ces travaux sont dus à deux ingénieurs en renom, MM. Bateman et Hemans. Ils sont exécutés, sous leur direction, par un jeune et habile ingénieur, M. Tancred. Nous devons des remerciements particuliers à MM. Hemans et Tancred qui, non-seulement, nous ont fourni de nombreux renseignements, mais ont bien voulu nous faire visiter eux-mêmes leurs travaux.

(**) Et non à Abbey Mills, comme on l'a dit par erreur dans diverses publications. Il avait été question, à l'origine, de cette dérivation, mais on y a renoncé. Du reste les grands traits du projet ont varié jusqu'au moment de l'exécution, il y a seulement quelques mois ; on ne sera donc pas surpris des divergences assez considérables qui existent entre le présent rapport et les publications antérieures.

En temps ordinaire c'est la première seule qui fonctionne et qui doit détourner la totalité des liquides; mais, lorsque les égouts charrient des torrents d'eaux pluviales, on la ferme pour laisser le flot s'écouler à la Tamise et on recueille alors, par la prise inférieure, l'eau d'égout que contient le réservoir. L'aqueduc se dirige de l'ouest à l'est, à peu près parallèlement à la Tamise, et aboutit à la mer du Nord, au sud des bouches du Crouch, après un parcours d'environ 70 kilomètres. Vers le 40e kilomètre, une branche d'une trentaine de kilomètres, projetée pour un avenir encore lointain, se détache vers le nord-est, traverse le Crouch et se jette à la mer au-dessus de cette rivière. L'exécution de cette branche, qui a pour but, comme la ligne principale, d'arroser des terres en culture et de conquérir une nouvelle aire de sables sur la mer, est naturellement subordonnée au développement que prendront les irrigations.

Dans le tracé du canal, on n'a pas eu seulement en vue d'amener les eaux aux sables du littoral dans les meilleures conditions possibles; mais il a fallu aussi pourvoir à l'arrosage économique des terrains situés sur le parcours. Dès lors, il fallait se maintenir à une certaine hauteur au-dessus du sol, sous peine que la question se trouvât compliquée d'une élévation mécanique des eaux chez chacun des futurs consommateurs. Les concessionnaires ont, dès l'abord, compris que le seul moyen de populariser l'engrais, c'était de le délivrer sans frais accessoires ni embarras d'aucune sorte, par conséquent coulant librement à la surface du sol, ou même *en pression* pour ceux qui voudraient en user à la lance; en un mot, d'opérer, comme on dit, le service *par voie de gravitation*. Les terres qu'on avait en vue de desservir devaient elles-mêmes occuper un certain étage, pour que l'écoulement s'y fît bien : sans quoi l'eau d'égout était destinée à y produire plus de mal que de bien. Enfin, il fallait dans l'aqueduc une certaine inclinaison pour prévenir le dépôt des parties boueuses. D'après les expériences faites

à l'occasion du drainage de Londres et d'après les propres observations de MM. Bateman et Hemans, on s'est arrêté à une pente de 20 centimètres par kilomètre. En tenant compte de ces diverses circonstances, ainsi que de la nécessité d'arriver sur les sables à une certaine cote au-dessus de la basse mer, afin d'assurer le dessèchement, on a été conduit à élever artificiellement la dérivation de près de 20 mètres, c'est-à-dire à faire franchir aux eaux cette hauteur au moyen de machines à vapeur. La réussite pratique de ce procédé, après les œuvres du Conseil métropolitain, ne pouvait être mise en doute; et, quant à la dépense, il était permis de prévoir qu'en ce qui concerne le pompage proprement dit, les frais ne dépasseraient pas 300.000 fr. par an. On a donc décidé la création de deux stations de pompes, l'une à 5.600 mètres de Barking, devant faire franchir aux eaux un saut de 9 mètres, et l'autre à 6.400 mètres plus loin, devant leur faire franchir un saut de 10m,50. L'aqueduc est, par conséquent, interrompu à chacun de ces deux points, et se poursuit, au delà, à un niveau plus élevé. Grâce à ces pompes, on calcule que la surface, à droite et à gauche du canal et de la branche du nord, qui pourrait être arrosée par gravitation, et qui est cependant à un niveau assez élevé pour que l'assèchement en soit bien assuré, on calcule, disons-nous, que cette surface n'a pas moins de 42.000 hectares (*).

(*) Elle paraît plus que suffisante pour absorber le liquide qui lui est destiné, car si l'on admet que les 100 millions de mètres cubes de la rive nord se partageront par moitié entre cette surface et les sables du littoral, le contingent par hectare ressort seulement à 1.200 mètres cubes, ce qui est très-faible. Mais il faut tenir compte de ce que les propriétés qui recevront le nouvel engrais seront très-loin de s'arroser en totalité : une partie seulement des terrains, celle affectée plus spécialement à certains herbages, recevra sans doute l'eau d'égout. Il faut donc prévoir une zone d'arrosage beaucoup plus vaste que celle qui suffirait théoriquement. A ce point de vue, le chiffre de 42.000 hectares peut même être trop

L'aqueduc, sur la moitié environ de son parcours, est enterré dans le sol. Sur l'autre moitié, il domine plus ou moins le terrain et est alors renfermé dans un remblai semblable à ceux des chemins de fer, dont la hauteur moyenne est de 5 mètres. Sur quelques points, pour la traversée d'étroites vallées, cette hauteur s'élève jusqu'à 10 mètres. En deux endroits, le remblai est remplacé par des arches en maçonnerie. Diverses routes sont franchies à l'aide de tuyaux en fonte, et la branche projetée au delà du Crouch devra, quand le moment sera venu, passer en syphon sous la rivière, afin de ne pas intercepter la navigation. Il est à peine besoin d'ajouter que des passages, en dessus ou en dessous de l'aqueduc, sont prévus pour les besoins de la propriété privée ou pour les chemins publics. Tous les 200 mètres, une sorte de trou d'homme est ménagé dans la couronne de l'aqueduc; ce trou est fermé par une plaque en fonte mobile et sert à la prise de l'engrais. Dans les portions où l'aqueduc domine le sol, c'est-à-dire pour les 42.000 hectares dont nous avons parlé, il suffira d'introduire dans le trou l'embouchure d'un syphon disposé *ad hoc* par la Compagnie, et l'eau d'égout coulera librement à la surface. Dans les autres portions, où le sol est au contraire plus élevé que

---

faible. Mais il serait facile, si besoin était, de l'augmenter plus tard, au moyen de branches supplémentaires et de nouvelles stations de pompes. M. Hemans estime qu'en poussant, par exemple, un aqueduc vers le faîte qui sépare la vallée du Crouch de celle de la Tamise on gagnerait aisément 20.000 hectares. Il paraît acquis en tout cas, qu'en élevant les eaux à une douzaine de mètres au-dessus du niveau actuellement prévu, on porterait la surface à 80.000 hectares. Il se pourrait même qu'on fût conduit à l'accroître encore au delà de ces limites : car rien n'indique que la Compagnie ne vendra pas un jour, sur le parcours, la presque totalité de l'engrais. C'est alors 150.000 hectares qu'il faudra peut-être trouver. Mais la configuration du pays le permet; il suffirait de s'étendre vers Chelmsford, à la cote de 50 ou 60 mètres. Pour le moment on s'en tient au chiffre, déjà considérable, de 42.000 hectares, et on laisse à l'avenir le soin d'élargir le cadre.

l'aqueduc, le cultivateur ajustera le tuyau de la pompe locomobile qui commence à se populariser dans les fermes anglaises, et aspirera ainsi le liquide. Toutefois, il ne faut pas se faire illusion ; cette dernière pràtique sera lente à se répandre, et les concessionnaires ne comptent réellement, pour la vente en grand, que sur la première.

Pour mener à bien son entreprise, la Compagnie du *metropolis sewage* a reçu de la loi de grands pouvoirs. Elle jouit notamment de deux prérogatives capitales : l'une, qui consiste à mener à travers la propriété privée le grand canal de dérivation et sa branche du nord, c'est-à-dire à exproprier pour cause d'utilité publique les terrains nécessaires à l'établissement et à la conservation de ses ouvrages; l'autre, qui consiste à pratiquer sous les chemins publics des conduites latérales destinées à apporter l'eau d'égout aux propriétés situées dans la zone irrigable et dépourvues de communication directe avec l'aqueduc. Cette dernière disposition a été jugée suffisante pour assurer les libres allures de la Compagnie. Dans l'enquête de 1865, la question a été posée de savoir s'il conviendrait de lui conférer aussi l'énorme privilége de pousser les conduites latérales dans la propriété privée; mais les représentants de la Compagnie ont répondu, avec autant de bon sens que de modération, « que « toute ferme devant être touchée en quelque point par un « chemin public, on pourrait toujours, à la rigueur, y ar- « river par là, et que, demander à la loi davantage, ce « serait courir le risque de tout compromettre devant le « Parlement. » Ainsi la Compagnie desservira la propriété privée de deux façons : 1° par des conduites directes, à travers champs, chez les fermiers qui confinent immédiatement à son aqueduc ou qui se sont fait autoriser par ceux qui les en séparent; 2° par des lignes plus ou moins détournées, empruntant les chemins publics depuis leur rencontre avec l'aqueduc jusqu'au point où ils atteignent la propriété qui réclame l'arrosage. L'un ou l'autre de ces

moyens, selon le cas, permettra de faire face à tous les besoins.

Emploi de l'eau.— Dès aujourd'hui, on peut prévoir que la Compagnie est assurée d'une clientèle importante : l'enquête de 1865 ne laisse aucun doute à cet égard. Plusieurs agriculteurs, situés dans la zone arrosable, interrogés sur l'emploi à faire de l'eau d'égout, n'ont pas hésité à répondre qu'ils étaient disposés à la payer un bon prix, pourvu, bien entendu, qu'on la leur distribuât à leurs convenances. Ils ont même articulé des chiffres, et celui de 2 deniers ou de 20 centimes par mètre cube a été plusieurs fois prononcé (*). Comme les agriculteurs n'ont pas dit leur dernier mot, la Compagnie ne peut pas tout à fait considérer ce prix comme assuré; mais il semble qu'elle peut raisonnablement compter sur un chiffre un peu moindre, par exemple sur 15 centimes. Or, déjà, à 15 centimes, si le débouché prend de l'importance, l'affaire est non-seulement sauvée, mais elle devient même très-avantageuse pour les concessionnaires.

Quant au mode d'emploi de l'engrais, il sera naturellement subordonné à l'initiative de chaque cultivateur. Le système qui paraît destiné à prévaloir, comme étant le plus simple et le plus productif, est celui des irrigations de prairies, au moyen de rigoles découvertes. L'arrosage à la lance, appliqué aux cultures maraîchères ou aux céréales, sera

(*) Voir les dépositions de MM. Watershaws, Wagstaff, Oakley, etc. On ne peut s'empêcher de remarquer cette attitude franche et intelligente des cultivateurs anglais. Dans d'autres pays, les déposants, qui pourraient être appelés plus tard à acheter l'eau d'égout, ne manqueraient pas de la déprécier et d'en contester l'efficacité, afin de se faire d'avance la partie belle et d'obtenir plus tard des concessionnaires de meilleures conditions en les effrayant, au risque de faire manquer l'entreprise elle-même. En Angleterre, on agit tout autrement : l'affaire étant jugée bonne pour tout le monde, on n'hésite pas à l'encourager, avec la pensée, bien entendu, d'y trouver soi-même aussi son profit.

l'exception. « La manière la plus profitable d'employer « l'eau d'égout, disent les commissaires de Rugby, c'est, « dans la plupart des cas, de l'appliquer aux prairies or- « dinaires ou au ray-grass d'Italie, à raison de 12.000 ton- « nes environ par hectare (*). » Cette conclusion et quelques autres, non moins importantes, formulées dans le même rapport, sont corroborées par la plupart des dépositions recueillies aux enquêtes publiques. Elles méritent d'être reproduites en leur entier, car elles résument, en quelque sorte, l'état actuel des connaissances en Angleterre sur ce sujet, et elles inspireront nécessairement les futurs usagers de l'eau d'égout de Londres; aussi en avons-nous fait l'objet de la Note *d*. La Compagnie du *metropolis sewage* a vérifié elle-même la justesse de ces principes. Les arrosages d'essai qu'elle poursuit à Barking-Creek, sur une superficie d'un hectare et demi (**), fournissent les mêmes résultats que ceux de Rugby. Afin de donner plus de force à l'enseignement, elle projette d'étendre ces arrosages à une surface d'environ 125 hectares, en vue de laquelle elle pose en ce moment un tuyau spécial de dérivation de 40 centimètres de diamètre. Ce sera pour les populations, à la fois une démonstration pratique et un puissant stimulant à faire elles-mêmes l'épreuve du nouvel engrais.

(*) *Third report of the commission appointed to inquire into the best mode of distributing the sewage of towns*, 1865.

Nous ferons remarquer que le chiffre de 12.000 tonnes par hectare est donné dans l'hypothèse où tout est disposé, sol et culture, en vue d'une irrigation continue et aussi abondante que possible. Mais cela ne veut point dire que, dans les circonstances ordinaires de la pratique, un chiffre moindre ne soit pas souvent préférable. Plusieurs agronomes, M. Hope entre autres, pensent que la dose de 7 à 8.000 mètres cubes par hectare est la plus avantageuse. (Enquête de 1865.)

(**) Actuellement 4 hectares (Note de mai 1867).

2° Mise en culture des sables littoraux.

Travaux d'endiguement. — L'aqueduc principal et son embranchement arrivent, avons-nous dit, à la côte de la mer du Nord, respectivement au nord et au sud des bouches du Crouch. Ils y rencontrent de vastes formations de sables, de plusieurs kilomètres de largeur, lesquelles s'étendent en longueur depuis l'embouchure de la Tamise jusqu'au Blackwater, c'est-à-dire sur près de 30 kilomètres. Ces formations peuvent être partagées en deux groupes : l'un, le plus important, compris entre la Tamise et le Crouch, et connu sous le nom de Maplin Sands ou de Foulness Sands ; l'autre, entre le Crouch et le Blackwater, appelé Dengie Flat. L'aqueduc aboutit au centre du premier groupe, et sa branche du nord au centre du second. Ce sont là les sables qu'il s'agit, dans une certaine étendue, de conquérir sur la mer. Les projets présentés par la Compagnie ont en vue l'endiguement de 8.000 hectares environ à Maplin et de 5.000 hectares à Dengie, avec un développement total de digues de 40 kilomètres. L'exécution de la branche nord étant ajournée, il en sera naturellement de même du travail de Dengie, et quant à Maplin, on se bornera pour commencer à enclore près de 3.000 hectares. Cette surface est actuellement couverte en entier par la haute mer : son niveau moyen au-dessus de la basse mer est de 4 mètres, les parties les plus basses sont à 1m,80 seulement. Elle forme, dans son ensemble, un plan incliné assez uniformément vers la mer et dont la pente moyenne est de 0m,65 par kilomètre. La hauteur moyenne de la digue, de la base au sommet, sera de 5m,50 et atteindra au maximum 8 mètres; la crête dépassera de 1m,75 le niveau des hautes marées et mettra ainsi les terrains à l'abri des vagues. La grande étendue de bancs de sable, qui règne en avant de la future enceinte, servira

naturellement à la protéger contre la grosse mer et jouera le rôle de brise-lames. Des travaux de même genre, exécutés sur plusieurs points de l'Angleterre, notamment dans la baie de Morecambe, sur la côte ouest du Lancashire, et dans la baie de Malahide, pour la traversée du chemin de fer de Dublin à Drogheda, montrent suffisamment la marche à suivre en cette circonstance. M. Hemans, qui a exécuté les remblais de Malahide, appliquera la même méthode à Maplin, en l'accommodant, bien entendu, à la destination différente des terrains. Son mode d'opérer sera le suivant : La digue sera formée de sable obtenu, partie en creusant le fossé de ceinture, de 8 mètres de large et de 30 à 40 centimètres de profondeur, qui doit régner à l'intérieur de l'enceinte, et partie aux bancs qui s'étendent du côté de la mer. Le sable sera simplement accumulé jusqu'à la hauteur voulue, en laissant les talus prendre leur pente naturelle. La face extérieure recevra un revêtement d'argile pilonnée de 50 centimètres d'épaisseur, sur laquelle on étendra une couche de chaux. La portion située au-dessus de la mer ainsi que le couronnement seront soigneusement gazonnés. Sur la face intérieure, on se contentera de tasser les matériaux aussi bien que possible. La largeur de la digue, au sommet, sera de 1^{m},25; la largeur à la base variera, naturellement, selon la profondeur : on estime qu'elle sera moyennement de 24 mètres.

Le territoire ainsi protégé sera soumis à une irrigation des plus actives. Les eaux d'égout, versées par l'aqueduc au niveau des parties les plus élevées, seront reçues dans des canaux et distribuées au sol par un réseau de rigoles découvertes. On compte donner 12 à 15.000 mètres cubes par hectare et au besoin pousser à 20.000. Bien entendu, on ne prétend pas là que ce soit la meilleure manière d'utiliser l'engrais; mais pour toute la portion non vendue sur le parcours, la Compagnie, plutôt que de le laisser couler à la mer, aura un intérêt évident à en user dans la plus large

proportion possible : car les expériences de Rugby prouvent que, dans les limites dont nous parlons, c'est-à-dire jusqu'à 20 et même 25.000 mètres cubes à l'hectare, pourvu que le sol soit parfaitement asséché, toute quantité supplémentaire de liquide correspond à un accroissement de produit brut et par suite de produit net, si la valeur du liquide est d'ailleurs comptée pour rien, comme c'est précisément le cas pour la portion qui reste aux mains de la Compagnie. Mais à raison de 20.000 mètres cubes par hectare, la Compagnie absorberait, sur 3.000 hectares, 60 millions de mètres cubes, soit les trois cinquièmes de son approvisionnement annuel, et, en étendant l'endiguement à 5.000 hectares seulement, elle l'absorberait en totalité. On voit donc que le projet de la Compagnie suffit actuellement pour faire face au plus pressé, c'est-à-dire pour faire passer à travers des prairies le flot quotidien que lui enverra incessamment la ville. Mais on doit souhaiter que les choses se passent autrement, et qu'au lieu de jeter de grandes masses de liquide sur quelques milliers d'hectares, la surface d'irrigation s'étende au contraire beaucoup, par suite d'un emploi de plus en plus général sur le parcours. De la sorte, la consommation moyenne par hectare sera considérablement abaissée, et tout le monde y gagnera, la Compagnie, aussi bien que le public.

Les terrains endigués étant au-dessous du niveau de la haute mer, l'eau d'arrosage ne pourra s'en écouler d'une manière continue ; elle devra, au contraire, être retenue jusqu'au moment où la marée descendante en permettra la sortie, à moins qu'on ne préfère l'épuiser à l'aide de machines à vapeur. Cette seconde solution serait moins coûteuse qu'on ne serait tenté de le croire au premier abord. Si l'on suppose, en effet, que la moitié des eaux soient amenées sur les sables, et que l'épuisement artificiel s'exerce la moitié du temps, c'est-à-dire, sur 25 millions de mètres cubes seulement, comme d'ailleurs la hauteur moyenne à

racheter par les pompes ne serait guère que de 1 mètre, la dépense annuelle d'extraction ne s'élèverait qu'à quelques milliers de francs (*). Mais il n'est pas probable qu'on en vienne là. Le fossé de ceinture suffira comme réservoir, en attendant les moments propices pour écouler : avec les dimensions qu'on projette de lui donner, il pourra contenir plus de 40.000 mètres cubes, c'est-à-dire le 6e environ de la production journalière de la rive nord de Londres : or, l'on n'aura jamais à garder l'eau plus de quatre heures, en sorte que même si elle venait en totalité aux sables, le fossé suffirait encore pleinement à cette destination. A la marée descendante, les eaux trouveront leur issue à travers la digue, au moyen de bouches de décharge munies de clapets, qui resteront fermées pendant toute la période du flux. Il en sera de même des cours d'eau naturels qui parcourent actuellement cette région ; ils seront recueillis dans des canaux et s'écouleront à la marée basse. Le territoire sera d'ailleurs complétement à l'abri des eaux de la mer : car aucune infiltration n'est possible à travers une digue constituée comme celle dont nous avons parlé (**). Le sol, formé de sable pur, offre une perméabilité parfaite ; et, deux fois par jour, comme nous avons vu, la zone entière sera débarrassée de toutes les eaux d'arrosage ou autres qui baignent le sous-sol. Ces terrains seront donc dans les meilleures conditions

---

(*) A quoi s'ajouteraient, bien entendu, l'intérêt et l'amortissement du capital engagé dans l'établissement des machines.

(**) « J'ai, dit M. Bateman, une grande habitude de la construc-« tion des grands filtres pour clarifier l'eau destinée à l'alimen-« tation des villes, et si je faisais un filtre de cette sorte (comme la « digue) je ne pourrais pas faire passer une seule goutte d'eau à « travers. Les filtres artificiels sont formés de sable lavé, et après « peu de temps la surface s'obstrue, de sorte que le filtre ne fonc-« tionnerait plus si on ne la grattait pour exposer une couche « fraîche de sable le plus pur. Or, si nous voulions ici, de quelque « manière, faire filtrer l'eau à travers le sable, nous ne réussirions « pas à en obtenir une goutte, une fois que la digue sera con-« struite. » (Enquête de 1865.)

possibles pour recevoir et évacuer de grandes quantités de liquides, sans que la culture ait jamais à souffrir d'un excès d'humidité. Toutefois, les deux premières années, on ne compte rien produire : le sol sera encore trop imprégné d'eau de mer et de matières salines. Ce temps sera consacré à le laver et à l'adoucir. Les eaux de pluie et celles d'égout, le parcourant sans interruption, entraîneront peu à peu tous les éléments nuisibles, et, dès la troisième année, on peut espérer une bonne récolte. Un pareil délai étant suffisant quand les sables sont simplement lavés par les eaux pluviales, ici à plus forte raison, où l'on a en outre les liquides d'égout, on est assuré d'avoir du temps de reste. En comptant donc sur deux années perdues, la Compagnie pose évidemment un maximum.

Emploi de l'eau. — L'irrigation sera conduite à la mode d'Édimbourg ou à la mode d'Espagne et, peut-être, selon l'une et l'autre à la fois. Dans le premier système, la surface du terrain est disposée en plans inclinés sur chacun desquels l'eau est déversée au moyen d'une rigole qui suit l'arête supérieure : une autre rigole, tracée le long de l'arête inférieure, sert à évacuer l'excédant des eaux ; au besoin, quelques rigoles transversales, ouvertes à la bêche ou par un trait de charrue, facilitent la dispersion du liquide. Dans le second système, le sol est divisé en plates-bandes horizontales, entourées chacune d'un petit mur en terre; l'eau se déverse d'une de ces enceintes dans l'autre, après avoir atteint une hauteur d'environ 6 à 7 centimètres. Il est probable que le choix entre les deux méthodes dépendra surtout de la quantité de liquide dont on devra disposer. Si l'on est assez pourvu pour n'avoir pas à y regarder, on adoptera la première méthode qui consomme davantage mais qui est d'une pratique plus simple; si, au contraire, on a intérêt à économiser l'eau parce que les cultivateurs en auront absorbé beaucoup sur le parcours

de l'aqueduc, on emploiera la seconde, qui exige plus de soins mais qui utilise beaucoup mieux.

Bien que l'eau d'égout paraisse convenir à une foule de cultures diverses, l'irrigation des prairies reste définitivement comme le mode d'emploi le plus avantageux. L'opinion de la Compagnie est fixée à cet égard, et toutes les combinaisons agricoles qu'elle a en vue pivotent autour de cette idée. Le projet caressé par elle avec le plus de complaisance serait d'élever sur son vaste domaine un grand nombre de fermes consacrées à la production du lait de vaches. Chacune d'elles serait pourvue d'une habitation et des bâtiment que comporte une laiterie. On s'efforcerait d'y faire venir les laitiers de Londres par l'appât d'un loyer fixé tout d'abord à un chiffre bien moindre que celui qu'ils payent d'ordinaire à la ville. On compte aussi, pour les attirer, sur la perspective d'un air pur et d'une demeure saine, deux choses auxquelles l'Anglais n'est jamais indifférent. La Compagnie passerait avec eux des marchés et leur fournirait à bas prix le fourrage vert rendu à domicile (*). L'avantage serait si évident que la Compagnie ne doute pas d'obtenir d'eux, avant l'achèvement des travaux, des engagements qui lui assurent la consommation sur place de toutes ses récoltes; « de telle sorte, dit-elle, que pas un quintal ne sera exporté en nature, mais que la totalité s'en ira exclusivement sous forme de lait, de fromages et autres produits accessoires se rattachant aux laiteries. »

L'éloignement de Londres ne paraît pas un obstacle à la Compagnie et elle compte avoir facilement raison de la concurrence des producteurs urbains et suburbains. Elle est, en effet, admirablement placée, pour les transports, par suite du voisinage du chemin de fer de South End qui vient

---

(*) Elle parle de le leur vendre sur le pied de 20 à 22 francs la tonne, tandis qu'il leur coûte aujourd'hui, à Londres, de 25 à 28 fr.

aboutir à quelques kilomètres de son territoire et auquel elle compte se relier au moyen d'une voie ferrée spéciale. Le litre de lait, rendu à Londres, sera donc, de ce chef, grevé à peine de quelques centimes.

Il ne faut pas se dissimuler que, dans cette industrie, la Compagnie pourra se trouver arrêtée, à un moment donné, par le manque de débouchés; car, quelle que soit en produits de ce genre l'immensité de la consommation d'une ville comme Londres, elle est cependant inférieure à celle que serait susceptible de satisfaire le domaine projeté. En effet, à raison de 15 vaches à l'hectare, chiffre généralement admis pour des prairies ainsi arrosées, les 8.000 hectares de Maplin, s'ils étaient tous cultivés en herbages, permettraient, déduction faite de la place perdue, d'entretenir plus de 100.000 vaches laitières, ce qui dépasse énormément le nombre de têtes mises à contribution par la métropole. En restreignant même la culture à 3.000 hectares, ainsi que la Compagnie se propose de le faire pour commencer, on aurait près de 40.000 vaches laitières, ce qui excède encore le contingent nécessaire à Londres. Quant à envoyer les produits dans les autres villes du royaume, il n'y faut pas songer : les frais de transport ne permettraient pas de lutter contre les producteurs locaux. La Compagnie a dû se préoccuper de cette éventualité et elle est arrivée à conclure que le moyen d'y parer serait, le cas échéant, de consacrer l'excédant de ses fourrages à l'engrais du bétail. Sans doute, ainsi qu'on l'a dit, l'herbe des prairies arrosées abondamment par l'eau d'égout ne convient pas bien à cette destination : car elle est trop aqueuse et l'animal qui s'en nourrit ne prospère pas en chair de bonne qualité. Mais, il résulte d'observations faites sur plusieurs points, qu'en associant dans une proportion convenable ce fourrage avec certains autres aliments, par exemple avec les tourteaux de graines oléagineuses, on peut le faire consommer avec succès. C'est ainsi, du reste, que les choses se passent

à Édimbourg : les Craigentinny meadows y servent à l'engrais du bétail. Les cultivateurs qui afferment ces terrains reconnaissent eux-mêmes que l'herbe qui y pousse se consomme d'une manière très-profitable, quand on l'associe avec des graines et autres aliments bien choisis (*).

En résumé, la Compagnie vendra sur le parcours de l'aqueduc la plus grande quantité d'eau possible, en l'offrant aux cultivateurs dans les proportions et aux époques qui leur conviendront; et pour toute la portion non vendue, elle l'emploiera sur son propre domaine à des irrigations permanentes de prairies. Elle considère la production du lait et de ses accessoires comme devant être la manière la plus avantageuse pour elle de consommer ses fourrages; elle y tendra en conséquence dans la limite du possible, et quand les débouchés viendront à lui manquer, elle utilisera l'excédant des récoltes pour l'engrais du bétail.

Dépenses et recettes.

Suivant un devis estimatif, remis par la Compagnie au comité d'enquête de 1865, le coût du projet complet, c'est-à-dire y compris l'embranchement du nord et l'endiguement de Dengie, devait se chiffrer comme suit :

(*) Voir les dépositions de MM. A. Bryce et J. Christy, ainsi que les explications de M. W. Hope, dans l'enquête de 1865.

	fr.
Aqueduc principal, depuis sa double jonction avec les travaux de la ville jusqu'à la bifurcation de Rawreth.	22.489.075
Prolongement de l'aqueduc, depuis Rawreth jusqu'aux sables de Maplin.	10.383.850
Embranchement du nord.	7.875.225
Pompes à feu.	1.750.000
Endiguement de Maplin.	5.419.575
Endiguement de Dengie.	3.206.500
Travaux préparatoires à la surface des sables, en vue de l'arrosage.	1.375.775
Total.	52.500.000

A cette somme, il faudrait ajouter l'intérêt des capitaux engagés pendant la période de construction, ainsi que divers autres frais, ce qui augmenterait le total ci-dessus d'environ 13 ou 14 millions et le porterait par conséquent à 66 millions en nombre rond. Mais, depuis la présentation de ce devis, les projets de la Compagnie ont considérablement varié, et par suite aussi ses évaluations. Ainsi, elle a renoncé à la jonction d'Abbey Mills; elle a ajourné pour un temps indéfini l'embranchement du nord et par suite l'endiguement de Dengie; enfin elle a restreint, pour le début, la surface d'arrosage de Maplin et l'a réduite successivement de 8.000 hectares à 5.000, et de 5.000 à un peu moins de 3.000. Par contre, elle a augmenté les dimensions de l'aqueduc entre Rawreth et Maplin, et elle a renoncé à le faire à ciel ouvert sur cette partie du parcours, ainsi qu'elle en avait d'abord eu la pensée; en outre, elle a relevé de plusieurs mètres tout son système de dérivation, afin de développer la zone desservie par gravitation le long de l'aqueduc, circonstance qui entraîne un accroissement correspondant de force dans les pompes à feu. De toutes ces causes combinées il est résulté, sur le devis primitif, une économie définitive d'environ 6 millions. Le projet actuellement en cours se solde par une somme ronde de 60 millions, ainsi qu'il ressort du prospectus distribué

récemment par la Compagnie à ses actionnaires, prospectus dans lequel la dépense est évaluée comme il suit :

Ouvrages d'art de tous genres (aqueduc, endiguement, pompes, travaux préparatoires), suivant un forfait passé avec M. William Webster (*), grand entrepreneur de travaux publics.	fr. 46.336.200
Sommes payées, sous forme d'actions libérées, à MM. Napier et Hope, fondateurs, comme reconnaissance d'apports et remboursement de frais d'études préliminaires et autres (**).	1.250.000
Intérêt à 5 p. 100 des capitaux engagés pendant la période de construction, achat des terrains, frais d'études, dépenses d'actes et d'administration, etc.	12.413.800
Total.	60.000.000

Cette somme sera fournie au moyen d'un capital actions, entièrement souscrit aujourd'hui, de 52.500.000 fr. et au moyen de 7.500.000 francs d'obligations à émettre.

En regard de cette mise de fonds, voici quels sont les bénéfices que l'on compte réaliser.

La Compagnie, dans son prospectus, porte à 18 millions (720.000 livres sterling) le chiffre de la recette brute annuelle. Elle n'en donne pas les motifs d'une manière très-nette, mais il est visible que ce chiffre répond, dans sa pensée, à l'hypothèse d'une valeur de 15 centimes, attribuée au mètre cube d'eau d'égout. En effet, dans ce même prospectus, la Compagnie fait connaître qu'elle compte dériver 120 millions de mètres cubes *en totalité*, c'est-à-dire y compris le supplément fourni par les petites pluies, lequel est évalué à 15 ou 20 millions de mètres cubes par an. Or

(*) W. Webster, avec qui la Compagnie a traité, est le même qui a construit, pour le compte du Conseil métropolitain, près de la moitié des ouvrages du *main drainage* de Londres. Ce choix seul est une grande garantie pour la future conduite des travaux.

(**) Les fondateurs se sont en outre réservé une petite part dans les bénéfices nets de l'exploitation.

le chiffre de 120 millions, multiplié par 0f,15, donne bien les 18 millions annoncés par la Compagnie. Mais une telle estimation est évidemment fautive, car elle implique que la totalité de l'eau disponible est vendue au public, ou, du moins, qu'on peut attribuer à cette eau la même valeur que si elle lui était vendue réellement. Or la quantité vendue au public sera bien inférieure au total disponible, au moins pendant les premières années de l'exploitation : la Compagnie elle-même a prévu ce cas et elle a formulé dans les enquêtes l'hypothèse où elle n'en placerait que la moitié ou même le tiers; et quant aux eaux utilisées sur son propre domaine, elles seront loin d'avoir la même valeur commerciale que celles qui seront achetées par les cultivateurs (*). Le prix de 0f,15 le mètre cube, attribué à la totalité, est donc inadmissible, quoiqu'il n'ait rien d'exagéré pour la portion vendue (**).

La manière dont l'eau se répartira étant nécessairement inconnue, on en est réduit aux conjectures pour apprécier la recette. Admettons une vente d'un tiers, soit, sur 120 millions, une vente de 40 millions de mètres cubes : à raison de 0f,15, ou aurait, de ce chef, une recette brute de 6 millions. Quant à l'excédant, il n'a pas de valeur commerciale proprement dite, puisqu'il devra être consommé par la Compagnie elle-même. Mais nous pouvons trouver indirectement quelque base d'évaluations. En effet,

---

(*) Il existe, en effet, entre les eaux vendues au public et celles consommées par la Compagnie, la même distinction qu'entre les irrigations conduites au seul point de vue de la culture ou au seul point de vue de la salubrité; or nous avons vu l'énorme différence que cela faisait dans les valeurs de l'engrais.

(**) C'est ce qui ressort des considérations dans lesquelles nous sommes entré au début de ce chapitre. Nous avons vu que le chiffre de 15 centimes était la moyenne des estimations faites sur l'eau d'égout, et que divers agronomes (entre autres M. Lawes) allaient même jusqu'à admettre une valeur de 20 centimes quand la consommation est réglée sur les convenances de la culture.

la Compagnie, par l'organe de M. Hope, a émis la prétention de louer les sables arrosés de Maplin à raison de 1.560 francs l'hectare (25 livres par acre). Ce chiffre, quelque élevé qu'il soit, cessera cependant de paraître invraisemblable quand on songe qu'à Edimbourg, certaines portions des Craigentinny meadows se louent, — les fermiers eux-mêmes le déclarent — sur le pied de 2.500 fr. l'hectare. Réduisons toutefois à 1.000 francs l'estimation de la Compagnie, et admettons en outre que la superficie *utile* de Maplin sera de 2.500 hectares seulement. On aurait, de ce deuxième chef, une recette annuelle de 2.500.000 francs.

Le recette brute totale serait donc de 8.500.000 francs.

Quant aux dépenses d'exploitation, comprenant l'élévation des eaux, l'entretien des divers ouvrages, la surveillance, l'administration centrale, etc., la Compagnie les évalue, dans son prospectus, à 1.250.000 francs par an; mettons 1.500.000 francs.

Il resterait ainsi un bénéfice net de 7 millions, ce qui, en dehors du mode de répartition adopté, correspondrait à un peu plus de 11 p. 100 du capital engagé. Si ce résultat peut paraître exagéré pour les premières années de l'exploitation, on est en droit, au contraire, de le regarder comme trop faible pour les années subséquentes; car, si la vente de l'eau vient à se développer, comme on doit l'espérer, la recette s'élèvera progressivement. Il faut considérer, en effet, que chaque mètre cube livré au public, rapporte cinq fois autant que lorsqu'il est consommé par la Compagnie : c'est ce qui ressort du calcul même qui précède, où l'on voit que les 80 millions de mètres cubes employés par cette dernière ne lui rapportent que 2 millions et demi, soit 3 centimes par mètre cube au lieu de 15 centimes (*). Si donc la Compagnie en arrivait à vendre les

(*) Même en admettant le prix élevé de fermage de 1.560 francs l'hectare, articulé par M. Hope, et une surface disponible de

deux tiers de son eau, même en réduisant, dans ce cas, de moitié le revenu de son propre domaine, en conséquence de la diminution d'eau qu'il recevrait, le bénéfice net total s'élèverait à près de 12 millions, soit plus de 19 p. 100 du capital engagé.

Quoi qu'il en soit de ces prévisions, la marge reste grande, on le voit, pour l'avenir, et le succès financier paraît assuré dans tous les cas à l'opération.

Objections.

Le projet que nous venons de décrire n'a pas triomphé sans luttes. Les objections ont été vives et nombreuses. Il n'est pas hors de propos de rappeler les principales.

Premièrement, on a dit que la surface desservie par gravitation était beaucoup trop faible et qu'elle n'aurait pas dû être moindre de 200 à 240.000 hectares (*). Le comité de la Cité de Londres, qui s'est fait l'organe de cette objection, donne pour principal argument que l'arrosage à haute dose est infiniment moins productif, toute proportion gardée, que l'arrosage à faible dose. Il n'est pas douteux, en effet, — et les expériences de Rugby le démontrent surabondamment — que les eaux de la métropole, réparties, par exemple, sur 100.000 hectares, donneraient plus de bénéfices que réparties sur 50.000 seulement. Mais le projet de la Compagnie répond pleinement à l'objection; car, si la consommation des eaux se développe au point que l'on puisse espérer les vendre avantageusement tout en élargissant le cercle de la clientèle, la Compagnie sera la première inté-

---

2.800 hectares (ce qui est presque le total de l'aire endiguée), on n'arriverait encore qu'à 5 centimes le mètre cube, soit le tiers seulement du prix de vente au public.

(*) *Report coal and corn and finance committee*, 9 février 1865.

ressée à accroître la surface desservie par gravitation. Or cela, avons-nous vu, lui sera facile, au moyen de pompes à feu supplémentaires et de nouveaux embranchements.

Secondement, on a dit que de semblables irrigations seraient une source d'infection pour le pays. Mais, d'une part, il est interdit à la Compagnie de les pratiquer à moins de 3.200 mètres de la banlieue de Londres, et, d'autre part, la contrée traversée par l'aqueduc ne renferme aucune agglomération importante. Quant aux sables littoraux, il n'en faut pas parler : la seule population qu'on y trouvera sera celle que la Compagnie y appellera elle-même par ses travaux. En outre, il est à remarquer que les irrigations bien conduites, c'est-à-dire dans lesquelles l'eau n'est pas en excès et où les moyens d'écoulement sont assurés, ne donnent pas lieu à de très-grandes odeurs. Or tel sera le cas de la zone traversée par l'aqueduc, puisque tous les terrains s'égouttent à la marée basse, et que la Compagnie est tenue, par son cahier des charges, de ne délivrer que la quantité d'eau que le sol peut aisément absorber. L'exemple d'Edimbourg qu'on a cité, ne prouve rien : car, dans les Craigentinny meadows, l'infection provient, non des prairies elles-mêmes, mais du canal d'amenée et des rigoles principales, lesquels sont à ciel ouvert, et dont les bords retiennent des matières fermentescibles. Ici, au contraire, l'aqueduc et les canaux de prise seront complétement fermés.

Troisièmement, on a contesté la possibilité de préserver efficacement des eaux de la mer les sables de Maplin. On a dit que ces sables étant mouvants, l'eau, poussée par la pression extérieure, laquelle n'est pas contre-balancée à l'intérieur de l'enceinte, s'introduirait nécessairement par le pied de la digue, à travers les sables, et détruirait la végétation. Cet argument, auquel des noms d'ingénieurs ont

prêté une certaine autorité (*), a été réfuté péremptoirement par la Compagnie. Elle a fait observer qu'à marée haute et dans les parties profondes, où les infiltrations pourraient, précisément, sembler le plus à craindre, la digue exercerait, par son propre poids, sur les bancs de sable, une pression de 15 tonnes par mètre carré, et que cette pression serait plus que suffisante pour que les sables devinssent tout à fait imperméables à l'eau. Quant à savoir si les sables, par suite de leur nature mouvante, pourraient supporter un poids semblable sans se dérober, chose qu'on avait paru également mettre en doute, la Compagnie a répondu par des expériences directes. Elle a fait éprouver très-soigneusement la capacité de résistance de ces sables et elle a trouvé qu'ils supporteraient, au besoin, une pression de 50 tonnes par mètre carré, plus que triple, par conséquent, de celle qu'ils auront à supporter effectivement. Enfin, rappelant les exemples de la baie de Morecambe et de celle de Malahide, la Compagnie fait observer qu'une fois les travaux faits, la mer se charge elle-même d'en augmenter la puissance, par les dépôts qu'elle accumule graduellement contre l'obstacle qui lui est opposé.

Quatrièmement enfin, on a dit que les sables littoraux, composés presque exclusivement de silice pure, n'étaient susceptibles de rien produire, et que la prétention de les fertiliser, émise par la Compagnie, était une grande erreur. Cette objection est peut-être celle qui a fait le plus de bruit, car elle s'abrite derrière le grand nom de Liebig, qui l'a formulée dans des documents publics (**). Mais la Compagnie

---

(*) Voir notamment la déposition de M. G. Hopkins dans l'enquête de 1864.

(**) « C'est en vain, dit-il, qu'on pense à transformer les sables « de Maplin en un sol fertile produisant une végétation luxuriante ; « pour en arriver là, il faudrait plus de 2 millions de tonnes d'ar- « gile afin de former à la surface du sol l'épaisseur requise d'un « pouce. » (Lettre au lord maire de la Cité de Londres, 1864.)

proteste de toutes ses forces qu'elle ne prétend nullement fertiliser les sables, *mais seulement féconder les récoltes qu'ils sont destinés à porter*. Le sable n'agira, dit-elle, que comme un intermédiaire, comme un support de la plante, servant uniquement à permettre l'absorption des principes fertilisants contenus dans l'eau d'égout, mais dont il ne retiendra rien pour lui-même. « Nous voulons, ajoutent MM. Napier et « Hope, engraisser la récolte et non la terre (*). » Au surplus la Compagnie a voulu sortir de la discussion théorique et répondre par des faits, visibles pour tout le monde. En conséquence, elle a pris du sable à Maplin même, et l'a transporté à Barking Creek, où elle l'a répandu sur un hectare et demi de terrain, en une couche de 25 à 30 centimètres d'épaisseur. Une partie de la surface a été mise en prairie permanente; l'autre a reçu différents légumineux, tels que pois, carottes, asperges, etc. Ensuite on a répandu l'eau d'égout en abondance. Les résultats obtenus ont été merveilleux : tout le monde a pu les voir, nous les avons vus nous-même. Les carottes, les asperges sont d'une grosseur surprenante; l'herbe pousse à raison de 10 *à* 11 *centimètres par semaine*, soit près de 6 mètres par an. On fait plusieurs récoltes et 7 coupes de fourrages. Cette végétation, toujours active, sous l'influence des liquides chauds et riches des égouts de Londres, rappelle celle des terres les plus privilégiées, sous d'autres climats. A ces faits, qu'objecter désormais? Aussi le public s'est déclaré convaincu, et il l'a prouvé, en effet, en souscrivant avec empressement le capital de la Compagnie, dont l'existence légale venait d'être reconnue par l'Acte parlementaire du 19 juin 1865.

(*) Lettre à M. Chwaites, président du Conseil métropolitain, 1865.

Acte constitutif de la Compagnie d'irrigation.

La Compagnie du *Metropolis sewage and Essex reclamation* étant la première qui se soit formée pour un tel objet, il est intéressant de consulter les dispositions principales qui ont été adoptées à son égard. Nous donnons à la Note *f* le texte des passages les plus saillants de l'Acte constitutif du 19 juin 1865, lequel ne compte pas moins de 127 articles. Nous y joignons également quelques extraits de la convention, en 35 articles, passée le 24 février de la même année, entre le Conseil métropolitain des travaux et MM. Napier et Hope, convention incorporée dans l'Acte précité. Nous nous bornerons ici à une analyse très-succincte de ces deux documents.

La Compagnie du *Metropolis sewage and Essex reclamation* est constituée au capital primitif de 52.500.000 francs, lequel, par des émissions successives d'actions et d'obligations, peut être porté à 100 millions, dont 75 millions en actions et 25 millions en obligations.

Il lui est fait concession entière des eaux d'égout de la partie nord de Londres, pour un laps de cinquante années commençant à courir après la quatrième année qui suit la date de l'Acte.

Il lui est fait également concession des sables littoraux de Maplin et de Dengie, situés sur le rivage de la mer du Nord.

La Compagnie reçoit le droit considérable d'expropriation, pour cause d'utilité publique, de tous les terrains nécessaires à l'établissement de ses aqueducs et des ouvrages qui en dépendent.

Elle a cette autre prérogative, également importante, de pouvoir établir des conduites latérales sous le sol des voies

publiques, en vue d'amener les eaux à portée des propriétés qui ne confinent pas à ses terrains.

Elle peut modifier et détourner les cours d'eau qui traversent les plages concédées. Elle peut même, pour mieux assurer l'écoulement général de cette région, pénétrer sur les propriétés voisines et y effectuer les travaux nécessaires de curage, faucardage et autres.

La Compagnie est tenue de délivrer l'eau d'égout aux terres situées sur le parcours des aqueducs, mais dans des proportions telles que ces eaux puissent être facilement absorbées sans occasionner aucun dommage. Les irrigations ne pourront avoir lieu à moins de 3.200 mètres des limites de Londres, telles qu'elles ont été fixées par le *Metropolis local management Act*. Sur les terrains endigués, au contraire, les arrosages s'effectueront absolument au gré de la Compagnie.

La Compagnie est tenue d'avoir terminé ses aqueducs dans un délai de dix ans, à partir de la date de l'Acte, et ses endiguements dans un délai de quatorze ans, à partir de la même date.

Les bénéfices *nets* de l'entreprise, c'est-à-dire déduction faite des frais d'exploitation et de l'intérêt des emprunts, seront partagés par moitié entre la Compagnie et le Conseil métropolitain. Toutefois les actionnaires auront la priorité jusqu'à concurrence d'un intérêt de 5 p. 100 l'an, et cet intérêt leur sera acquis, en sus de ce qu'ils partageront avec le Conseil, jusqu'à ce que leur revenu atteigne 15 p. 100. Au delà de ce chiffre, le Conseil prélèvera trois quarts des bénéfices excédants, de façon à ce que l'égalité entre les sommes touchées de part et d'autre arrive à se rétablir.

Le Conseil garde le droit d'inspecter les travaux à toute époque, avant et après leur achèvement. Il a également le droit de vérifier tous les livres de compte de la Compagnie et d'en prendre des extraits ou des copies sans frais.

L'un des ministres de Sa Majesté aura le droit de prendre

toutes mesures nécessaires envers la Compagnie, pour prévenir ou supprimer les causes de dommages qui pourraient résulter, soit de l'exécution des travaux, soit du mode d'emploi ou de traitement des eaux d'égout.

Si l'on tient compte de l'esprit habituel de la législation anglaise, on reconnaîtra que l'Acte du 19 juin 1865 a fait à la Compagnie du *metropolis sewage* une situation exceptionnelle, qui témoigne hautement de tout l'intérêt qu'on a attaché en Angleterre à cette entreprise. On a voulu, avant tout, faire réussir un projet qu'on considérait avec raison comme devant exercer une influence décisive sur les destinées de l'assainissement dans le Royaume-Uni. Cette considération toute-puissante explique seule les exceptions au droit commun qui ont été consenties en faveur de la nouvelle Compagnie.

RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS.

Résumons-nous.

L'assainissement de Londres offre trois périodes.

Dans la première, on s'occupe exclusivement de la maison et de la rue, sans regarder au delà. On veut les débarrasser de leurs immondices, et abolir tout réceptable d'ordures stagnantes. En conséquence, des canaux sont poussés sous les habitations et dans le sol de la voie publique. Ils reçoivent les eaux ménagères, les matières fécales, les boues, en un mot, tous les résidus susceptibles d'être entraînés par les eaux, et ils les transportent, par la voie la plus prompte, à la Tamise. C'est la période du drainage

partiel ou du drainage proprement dit. Les faits qui s'y rapportent sont connus et nous n'avons pas jugé utile de les rappeler.

Dans la seconde période, qui commence pratiquement en 1859, on porte les regards plus loin. On s'aperçoit qu'en assainissant la rue et la maison, on a corrompu le fleuve. On n'a pas supprimé l'infection, on l'a déplacée. Le foyer général qu'on a créé n'est pas moins dangereux que les foyers partiels qu'on a détruits. La situation, chaque jour plus grave, devient, à un moment, intolérable : on se décide enfin à y porter remède. Le sol de Londres est alors découpé par des lignes magistrales de collecteurs, qui rencontrent tous les égouts déjà existants, rassemblent leurs eaux en deux grands courants, l'un sur la rive droite, l'autre sur la rive gauche, et les déversent dans la Tamise, à des points assez éloignés de la métropole pour que les matières en décomposition ne puissent plus jamais être ramenées sous ses murs. On ne recule devant aucune difficulté d'exécution, ni devant celle d'élever à la vapeur ces immenses volumes d'eaux, ni devant leur accumulation dans de vastes réservoirs souterrains, d'où elles ne sortiront qu'à la marée descendante. On dépense 105 millions à cette œuvre gigantesque, et l'on réalise ainsi le *main drainage* ou drainage principal de Londres.

La solution est complète en ce qui concerne la salubrité de la ville; mais le fleuve demeure infecté en aval, et les matières fertilisantes qui s'échappent de la grande cité continuent à se perdre sans retour.

La troisième période commence à peine. On a mis la main à la pioche aux premiers mois de la présente année (1866), mais on pousse les travaux avec une grande activité. Il s'agit ici d'un progrès nouveau, le plus difficile peut-être de tous à réaliser, et celui, à coup sûr, qui a longtemps paru le moins réalisable. Il faut transformer une chose nuisible en une chose utile, rendre désormais à la terre

ce qui appartient à la terre, et, selon la belle expression du *General Board of Health*, « fermer pour toujours le grand cercle de la Nature (*). » En un mot, il faut employer les liquides d'égout à la production agricole.

C'est alors que la Compagnie du *Metropolis sewage and Essex reclamation* se forme. Elle met en avant le projet le plus ingénieux, celui même qui s'exécute aujourd'hui : l'eau d'égout sera utilisée désormais, partie par les fermiers qui voudront en user sur leurs terres, partie par la Compagnie, qui gardera le surplus et le répandra sur des plages stériles enlevées à la mer du Nord. Un aqueduc couvert, de 70 kilomètres de long et de 3 mètres de diamètre, déjà commencé, conduira les eaux du réservoir au rivage. Sur le parcours, 40.000 hectares de terrain, dont le nombre pourrait être doublé au besoin, seront desservis par gravitation, c'est-à-dire sans autre peine, de la part du cultivateur, que de tourner un robinet d'eau. A l'extrémité de l'aqueduc, la Compagnie endiguera, pour le début, 3.000 hectares de sables, et plus tard, s'il y lieu, quadruplera cette surface.

Partout, les liquides seront employés à l'état naturel : tous les modes de fabrication d'engrais artificiels ont été définitivement écartés. L'irrigation des prairies permanentes est admise comme la solution la plus avantageuse. La dose de 7 à 8.000 mètres cubes par hectare, quand le terrain le comporte, paraît correspondre au maximum de profit. Mais, sur les sables endigués, où la perméabilité est parfaite, et où, d'ailleurs, l'eau est à discrétion, on peut aller, sans inconvénient, jusqu'à 20.000 mètres cubes.

(*) « Les lois de la Nature, lit-on dans un des meilleurs rapports « du *Board*, ne souffrent point de halte. Le simple éloignement des « matières en décomposition n'est qu'un expédient. Le grand cercle « de la vie, de la mort et de la reproduction doit être fermé ; et « tant que les éléments de la reproduction ne seront pas em- « ployés pour le bien, ils travailleront pour le mal. » (*Report on the means of deodorising and utilizing the sewage of towns*, 1857.)

L'eau d'égout sera vendue à un prix voisin de $0^{f},15$ le mètre cube. Dans son propre domaine, la Compagnie développera, sur une grande échelle, l'industrie du lait et de ses accessoires; et, quand la limite de la consommation de Londres sera atteinte, elle se livrera à l'engrais du bétail.

Pour accomplir son œuvre sur la rive nord, la Compagnie demande six ans et 60 millions de francs. Elle dépensera, au besoin, 100 millions pour lui donner tout son développement. Dès les premières années, le produit, on peut l'espérer, atteindra 10 p. 100 du capital engagé et ne tardera pas sans doute à dépasser sensiblement ce chiffre. On entrevoit, dans l'avenir, la perspective, à coup sûr trop belle, de 30 p. 100; mais celle de 20 p. 100 ne paraît pas invraisemblable.

Sur la rive sud de la Tamise, la solution est moins avancée, mais elle ne saurait bien longtemps se faire attendre. La même Compagnie est en instance auprès du Parlement, et obtiendra probablement, avant un an, la concession des eaux d'égout de la seconde partie de Londres.

Ainsi se trouvera résolu, pour la ville la plus peuplée de l'univers, le grand problème de l'assainissement, dans ses doubles rapports avec l'hygiène publique et avec la production agricole. Il ne restera plus qu'à souhaiter que ce mémorable exemple porte ses enseignements.

Concluons.

La solution adoptée à Londres met en évidence, selon nous, les principes qui doivent présider à l'examen de toute question de ce genre.

Ces principes sont les suivants :

L'eau d'égout doit être employée *à l'état naturel*, c'est-à-dire telle qu'elle sort des villes, sans traitement ni préparation d'aucune sorte.

Elle convient d'autant mieux aux usages agricoles qu'elle reçoit une plus grande proportion des résidus de la ville et notamment les matières fécales.

Le mode d'emploi le plus avantageux consiste dans l'arrosage des prairies, soit naturelles, soit artificielles. Cet arrosage doit se faire à la manière ordinaire, c'est-à-dire au moyen de fossés et de rigoles découvertes, et non au jet et à la lance.

Le sol doit être aussi perméable que possible et offrir toutes facilités à l'écoulement des eaux. Les terrains légers et drainés réalisent, sous ce rapport, les meilleures conditions.

Avec un sol bien disposé, une végétation active, et des eaux qui arrivent promptement sur les terres, les odeurs sont peu incommodes; toutefois on doit éviter que les irrigations soient conduites dans le voisinage des villes.

Les liquides qui s'écoulent des terres après avoir circulé pendant quelques heures à travers les prairies, sont à peu près dépouillés d'éléments putrescibles et peuvent être déchargés sans inconvénients sensibles dans les cours d'eau.

Les canaux d'amenée des liquides doivent êtres couverts. Il suffit d'une inclinaison de 20 centimètres par kilomètre pour prévenir la formation des dépôts dans ces canaux.

Quand l'écoulement des liquides, jusqu'au lieu d'irrigation, ne peut être assuré par la pente naturelle du terrain, on ne doit pas reculer devant l'emploi des machines à vapeur : il faut seulement avoir soin de préserver les pompes au moyen de grillages qui arrêtent les objets les plus volumineux. Quant aux frais élévatoires de l'eau d'égout, ils sont tout à fait négligeables devant sa valeur, puisque l'élévation à 150 mètres n'augmente pas le prix d'un dixième.

La surface nécessaire à l'écoulement des liquides d'une grande ville n'est pas très-considérable; car on peut, à la rigueur, faire passer sur un hectare de prairies, dont le sol

s'égoutte bien, jusqu'à 20.000 mètres cubes d'eau d'égout par an ; ce qui, à raison de 110 litres par habitant et par jour, chiffre supérieur à la moyenne (*), correspond à un hectare pour 500 habitants, ou à 4.000 hectares pour une ville de 2 millions d'âmes. Ce n'est là, il est vrai, qu'une solution au point de vue de la salubrité ; car, au point de vue de la production agricole, il est bien préférable, quand les circonstances le permettent, de réduire considérablement cette dose d'arrosage.

En résumé, la distance à faire parcourir aux eaux d'égout n'est rien ; la hauteur à leur faire franchir est peu de chose : tout dépend de la nature du terrain et des facilités qu'il offre à l'écoulement. Comme il y a bien peu de villes autour desquelles on ne puisse trouver, dans un rayon plus ou moins étendu, quelque endroit propice à des irrigations de prairies, on est en droit de conclure qu'à peu près partout, l'application directe de l'eau d'égout à la culture est non-seulement un moyen efficace d'assainissement, mais peut encore devenir une opération lucrative pour ceux qui savent la pratiquer (**).

(*) En ne s'occupant pas des eaux pluviales, qu'on laisse perdre directement aux rivières.

(**) Quand, bien entendu, l'eau d'égout reçoit les matières fécales de la population ; car c'est là une condition formelle des bénéfices de l'entreprise. Tous les calculs faits en Angleterre ont en vue des liquides ainsi enrichis, et n'autorisent point à conclure que l'opération serait encore profitable si les égouts étaient privés, comme en France, de communication avec les cabinets d'aisances.

NOTES A L'APPUI.

NOTE *a*.

L'existence des égouts de Londres, comme de ceux de plusieurs cités, remonte à une époque très-ancienne ; mais leur destination a considérablement varié depuis l'origine. Jusque vers l'année 1847, il était interdit, sous des peines sévères, de décharger les eaux sales et autres matières infectantes dans les égouts. Les fosses d'aisances étaient regardées comme les vrais réceptables des ordures domestiques, et les égouts comme les évacuateurs des seules eaux de la surface. Plus tard, la mise en communication des maisons avec les égouts fut autorisée, et, en 1847, intervint le premier acte législatif qui la rendit obligatoire.

Plusieurs des principaux égouts, qui recueillaient de nombreuse sources souterraines, servaient autrefois à fournir d'eau certains quartiers. Tel était, notamment, le cas des égouts de Fleet, de King's Scholars' Pond, de Ranelagh, etc. Ils étaient pourvus de nombreux barrages sur le parcours, et les retenues d'eau ainsi formées contribuaient à l'agrément de la partie suburbaine de Londres. L'égout de Ranelagh, entre autres, fut affecté, en 1730, à l'alimentation de la rivière de Hyde Park. Plus tard, cependant, le lac se trouva tellement corrompu que l'égout fut alors détourné au moyen d'un autre canal construit à travers le parc.

La population de Londres augmentant beaucoup, le sol fut, en quelque sorte, bientôt criblé de fosses d'aisances; et, comme les aménagements intérieurs de la maison allaient se perfectionnant, il fallut établir des conduits de décharge, allant des fosses aux égouts. Ceux-ci furent par suite infectés, et l'on dut dès lors substituer des conduits fermés aux canaux découverts pratiqués jusque-là.

Avant l'année 1847 les égouts étaient sous la juridiction de huit commissions distinctes, savoir : celles de la Cité, Westminster, Holborn et Finsbury, Tower Hamlets, Poplar et Blackwall, Surrey et Kent, Greenwich et Sainte-Catherine. C'étaient autant de corps indépendants : chacun d'eux nommait ses agents et dirigeait à sa

guise ses travaux de drainage, la plupart du temps sans se préoccuper des effets qui en pouvaient résulter sur les districts voisins, à travers lesquels les eaux avaient à passer. Les travaux n'étaient point établis d'après un plan uniforme, mais les dimensions, la forme ainsi que le niveau des égouts, aux limites des divers districts, étaient souvent très-variables. Ainsi des égouts plus vastes se déchargeaient dans des égouts plus étroits; d'autres, à parois planes, avec couronne et radier circulaires, étaient reliés avec des galeries ovoïdes; ou encore, des égouts à section ovoïde, ayant la pointe en haut, étaient reliés avec d'autres également ovoïdes, mais ayant la pointe en bas.

Le premier essai de centralisation date de 1847. Les huit commissions distinctes furent remplacées par une commission unique, appelée *Commission métropolitaine des égouts*, dont les membres étaient nommés par le gouvernement. Cette commission entretint, à l'égard des égouts, des vues opposées à celles qui avaient prévalu jusqu'alors et employa toute son énergie à substituer des tuyaux d'un très-petit diamètre aux vastes galeries en briques précédemment en vogue, à abolir les fosses d'aisances, à évacuer tous les résidus de la maison au moyen de conduits débouchant directement à l'égout public, et à rendre obligatoire l'adoption de ce nouveau système de drainage : si bien que, dans la seule période de six ans, 30.000 fosses furent supprimées et les ordures des maisons et des rues rejetées dans la Tamise.

Malheureusement les travaux d'ensemble furent entravés par les nombreux changements survenus au sein de la commission. Dans les neuf années qui suivirent sa création, elle fut renouvelée six fois ; c'est-à-dire qne des hommes nouveaux eurent, à six reprises différentes, à continuer la tâche de leurs devanciers. Ces corps éphémères furent, on le comprend, impuissants à mûrir convenablement et à mener à bonne fin aucune entreprise de grande importance.

Note *b*.

La création du *Conseil métropolitain des travaux* a été déterminée par la nécessité de remédier à l'infection de la Tamise. C'est ce besoin de premier ordre pour la grande cité, et auquel la précédente *Commission métropolitaine des égouts* s'était montrée impuissante à satisfaire, qui a amené l'ordre de choses actuel. Nous empruntons à M. Basalgette les principaux détails qui vont suivre.

En 1849, les ravages du choléra et les chaleurs d'un été excep-

tionnel se réunirent pour faire plus vivement sentir les dangers de la situation. La Tamise était à ce moment saturée de résidus d'égout; et, comme diverses compagnies d'eau s'alimentaient au fleuve, près de Londres ou dans Londres même, la presse publique commença à agiter la question pour amener un remède à des dangers croissants. La Commission métropolitaine mit au concours l'étude de la purification du fleuve; elle ne reçut pas moins de cent soixante projets différents, qui furent livrés à l'examen d'un comité de trois membres, composé de MM. Robert Stephenson, Rendel et William Cubitt. Après de longues et minutieuses recherches, le comité aboutit à cette conclusion décourageante, que le meilleur de tous les projets, celui de M. Mac Clean, n'était pas lui-même complétement exécutable. La question subit ensuite des phases diverses sous les commissions métropolitaines qui se succédèrent jusqu'en 1854, époque où M. Basalgette, devenu ingénieur en chef de la commission, fut chargé, de concert avec M. Haywood, l'ingénieur actuel de la Cité de Londres, de préparer un projet définitif pour la réalisation du *main drainage* de la métropole. Le projet ainsi dressé obtint la haute approbation de Robert Stephenson et de William Cubitt. Toutefois, les changements incessants de la commission, renouvelée pour la sixième fois en 1855, ne permirent pas que rien de sérieux fût tenté jusqu'en 1856, date de l'avénement du Conseil métropolitain des travaux.

Cependant, tandis que le temps s'écoulait en études et en débats stériles, la ville souffrait gravement d'une situation qui allait empirant chaque jour. Déjà, à deux reprises, en 1832 et en 1849, le choléra avait sévi à Londres et, à sa seconde invasion, il avait fait plus de 18.000 victimes. La troisième épidémie, celle de 1854, fut plus meurtrière encore. Quoiqu'il soit difficile d'expliquer la filiation mystérieuse qui peut exister entre une semblable maladie et l'état défectueux du drainage, il n'en fut pas moins établi, par les faits observés alors, qu'une semblable relation existe positivement. L'inspection des maisons de Londres, frappées dans les diverses épidémies, le montre clairement; on constate, en effet, ce fait capital que les maisons qui avaient été le plus ravagées par le fléau, dans ses premières apparitions, ont été, au contraire, préservées dans l'apparition suivante, époque où les conditions du drainage se trouvaient profondément améliorées dans ces quartiers. Cette vérité ne contribua pas peu à hâter un dénoûment appelé des vœux de tous, et le Conseil métropolitain fut enfin créé par l'Acte de 1856.

Ce fut un changement radical de système, non-seulement au point

de vue des résultats techniques, mais au point de vue de l'esprit même des institutions. Le *self-government* local fut substitué à l'antique intervention de l'État. Depuis des siècles, en effet, les commissions des égouts étaient nommées par l'autorité centrale. Elles étaient irresponsables vis-à-vis des contribuables, pour le compte desquels, cependant, elles opéraient. En vertu du nouvel Acte, Londres est divisé en 39 districts. La Cité et les paroisses les plus importantes, telles que Marylebone et Lambeth, forment chacune un district; les autres districts sont composés des paroisses moins importantes, groupées ainsi qu'il convient. Les contribuables de chaque district ou paroisse, selon le cas, élisent parmi eux un certain nombre de représentants pour constituer un *conseil de district*, lequel a qualité pour tout ce qui concerne le drainage du district, le pavage, l'éclairage et autres objets semblables. Ces conseils locaux choisissent eux-mêmes dans leur sein un ou plusieurs délégués, selon l'importance de la population et l'étendue du district, et ce sont ces délégués qui constituent, par leur réunion, le Conseil métropolitain des travaux. Celui-ci compte actuellement quarante-cinq membres, ayant à leur tête un président électif. Le Conseil métropolitain a sous sa juridiction tout ce qui touche au *main drainage*, à l'endiguement de la Tamise, aux nouvelles voies et, en général, à toutes les améliorations intéressant la métropole. En même temps il trace des règlements dans lesquels les conseils de districts sont tenus de se renfermer pour leur propre gestion.

La nouvelle institution est armée, on le voit, d'une grande force : elle l'a puisée à la fois dans son origine, essentiellement populaire, et dans sa complète indépendance de l'autorité centrale. Elle peut réaliser de grandes choses, n'ayant point à redouter l'opposition des habitants, de qui elle émane, et n'étant point arrêtée par les barrières artificielles qui s'élevaient autrefois entre les diverses parties de la ville. C'est quelque chose d'analogue à nos conseils municipaux, mais avec des attributions plus larges en ce qui concerne les travaux publics, et plus d'autorité réelle pour les faire exécuter (*).

(*) On peut regretter seulement la division de pouvoir qui existe encore au-ssous du Conseil métropolitain entre les conseils de districts, et la situation ceptionnelle conservée par la Cité, au sein de la métropole, qui l'entoure en quelque sorte sans la pénétrer. Il y a là un complément de réforme dont l'opinion publique commence à se préoccuper. (Voir notamment le *Times* du 19 mai 1867.)

NOTE C.

Les évaluations relatives aux eaux d'égout sont très-divergentes. Le baron Liebig, faisant le calcul des éléments chimiques contenus dans les liquides enrichis par les matières fécales, et raisonnant sur une population de 2 millions d'adultes, trouve que la valeur des eaux de Londres serait un peu supérieure à 50 millions (*Lettre au lord maire*, du 19 janvier 1865). Ce chiffre devrait même, d'après ces bases, être porté à 60 millions au moins, en tenant compte de la population réelle. Mais comme le fait remarquer l'illustre chimiste, l'état de dilution dans lequel se trouvent ces éléments en modifie considérablement la valeur théorique. Le docteur A. Vœlcker fixe cette valeur à 30 millions environ, soit 2 deniers ou 20 centimes la tonne, pour 400.000 mètres cubes par jour (*Enquête de* 1863); chiffres que M. R. Rawlinson est disposé à accepter (*Enquête de* 1864). Le professeur Way, qui donne une des évaluations les plus basses, admet pourtant une valeur de 1 denier à 1 denier 1/2 la tonne, qui correspond à 20 millions (*Enquête de* 1864). A côté de ces évaluations, d'un caractère plutôt théorique, se placent celles des agriculteurs, qui cherchent à tarifer l'engrais des villes d'après les résultats commerciaux qu'il donne dans la pratique. Mais ici une distinction capitale est à faire, selon que l'eau d'égout est employée par le cultivateur, *à sa convenance*, c'est-à-dire au moment et dans la proportion qui lui plaît, ou selon, au contraire, qu'il est obligé de l'absorber continuellement sur ses terres; en d'autres termes selon que l'irrigation est conduite exclusivement au point de vue de la culture ou exclusivement au point de vue de la salubrité publique. M. Lawes, qui a dirigé les expériences de Rugby, porte, dans un cas, la valeur au delà de 30 millions, et dans l'autre cas, au-dessous de 7 millions, c'est-à-dire à plus de 2 deniers ou à moins de 1/2 denier la tonne. (*Enquête de* 1865.) MM. Archibald Campbell, Joseph Paxton, Samuel Bury, Congrève et autres agronomes acceptent volontiers le chiffre de 20 centimes ou 30 millions (*même enquête*). On le voit également reproduit par divers fermiers, MM. Fr. Wagstaff, Watershaws, mais sous la condition de recevoir le liquide à leur convenance (*même enquête*). Quelques autres vont plus loin et admettent le chiffre de 25 à 30 centimes, ce qui correspond à une quarantaine de millions. Ainsi, laissant de côté, comme évidemment trop élevée, l'estimation théorique de M. Liebig, on voit que les évaluations varient

entre 7 et 40 millions, soit une moyenne de 25 millions, et que cette moyenne est en même temps celle que formulent les agriculteurs (de 20 à 30 millions), dans l'hypothèse où les eaux sont employées par eux à leur convenance. Si donc il est possible de réaliser une combinaison qui satisfasse à peu près à cette condition, et le projet même de la Compagnie actuelle la réalise pleinement, le chiffre de 25 millions, correspondant à 15 centimes environ le mètre cube, peut être considéré comme représentant la valeur annuelle des eaux d'égout de la ville de Londres.

Note *d*.

Voici les conclusions générales du troisième rapport, en date de 1865, des commissaires royaux institués pour expérimenter l'usage des eaux d'égout à Rugby. Elles sont signées par MM. John Bennet Lawes et J. Thomas Way, commissaires spécialement délégués, et ont été acceptées par la commission tout entière, composée des cinq hommes éminents dont les noms suivent : comte Essex, président, Robert Rawlinson, J. Thomas Way, J. B. Lawes et John Simon (*).

1° « Pour obtenir le maximum de produit correspondant à une « quantité donnée d'eau d'égout, il faudrait l'appliquer à faible « dose et par des temps secs; mais le grand état de dilution de « l'engrais, son flux journalier en toutes saisons, et la quantité « d'eau qui augmente encore en temps de pluie, au moment même « où la terre s'accommode le moins d'en recevoir, rend tout à « fait impossible de l'appliquer, sur une large échelle, aux terres « arables portant des céréales ou d'autres récoltes alternées.

2° « En supposant qu'on prît des dispositions pour distribuer « l'eau d'égout sur une surface suffisamment étendue, en vue de « retirer le plein profit et de l'eau et de l'engrais, aux moments « les plus favorables de l'année, la dépense des conduites princi- « pales serait très-grande, l'application sur la terre arable exige- « rait essentiellement l'emploi des tuyaux et de la lance au lieu de « rigoles découvertes, et même ainsi on ne parviendrait à utiliser

(*) Ces personnages sont tous célèbres, en Angleterre, à des titres divers : le comte d'Essex est un des premiers agronomes du Royaume-Uni; Robert Rawlinson est inspecteur général des travaux publics; Th. Way est un des chimistes les plus écoutés en matière agricole; J. B. Lawes est le plus grand fabricant d'engrais artificiels du monde entier, et John Simon a fait, depuis longtemps, sa réputation comme hygiéniste.

« qu'une faible partie de la quantité totale; le reste du temps l'eau « devrait être répandue en abondance sur des prairies, aux mo- « ments les moins favorables de l'année et, par suite, donnerait « beaucoup moins de bénéfices.

3° Eu égard au coût de la distribution, il est probable que le « mode d'emploi le plus avantageux consisterait à restreindre les « surfaces en adoptant des arrangements spéciaux en vue d'appli- « quer la plus forte part, sinon la totalité de l'eau, à des prairies « permanentes ou autres, disposées de façon à pouvoir la prendre « toute l'année, en ne comptant qu'occasionnellement sur d'autres « cultures situées à proximité de l'aire ainsi desservie. On ferait « surtout fond, pour obtenir au moyen de l'eau d'égout des pro- « duits autres que le lait et la viande, sur le défoncement pério- « dique des prairies et sur l'application à la terre labourée de l'en- « grais solide résultant de la putréfaction des herbes irriguées.

4° « Il est probable que la dose d'environ 12.000 mètres cubes à « l'hectare, judicieusement appliquée sur des prairies bien dis- « posées pour la recevoir, assurerait, dans la grande majorité des « cas, le résultat le plus avantageux.

5° « En supposant une application de 12.000 mètres cubes à « l'hectare de prairies, l'eau se trouverait, sans aucun doute, « assez bien purifiée pour être évacuée ensuite aux rivières sans « crainte de nuire au poisson. Les cours d'eau, recevant des li- « quides ainsi purifiés en place de ceux qui s'échappent directe- « ment des villes, seraient grandement améliorés au point de vue « de l'alimentation publique; mais quant à dire si l'améliora- « tion serait suffisante pour une telle destination, c'est là une « question qui exige d'autres expériences et de nouvelles investi- « gations avant qu'on puisse y répondre d'une manière satisfai- « sante, et il est probable que la réponse variera suivant les cir- « constances.

6° « Admettant que la quantité moyenne d'eau d'égout de la mé- « tropole, y compris les eaux pluviales et souterraines, monte « à 100 mètres cubes par personne et par an, 5.000 mètres cubes « représenteraient les déjections et autres matières provenant de « 50 individus; et, pour une population de 3 millions d'âmes, il « faudrait une surface d'environ 25.000 hectares constamment « arrosée (*).

(*) En fait, il suffit d'une surface beaucoup moindre, puisqu'on convient de perdre directement au fleuve les eaux des grosses pluies, ce qui diminue l'eau d'arrosage de plus de moitié.

7° « Les seuls chiffres exacts qu'on ait sur les résultats de l'ap-
« plication de l'eau d'égout aux céréales sont ceux qui provien-
« nent des expériences faites par le comte d'Essex sur du blé, et
« ceux obtenus avec de l'avoine à Rugby et consignés dans ce
« rapport; dans les deux cas, l'accroissement de produits repré-
« sente un très-gros profit par mètre cube d'eau employé. Les cir-
« constances dans lesquelles ont eu lieu les expériences de Rugby
« étaient, il est vrai, tout à fait exceptionnelles; et, dans les en-
« droits où les applications les plus étendues de ce genre ont été
« faites, à un point de vue commercial, notamment à Watford,
« Rugby et Alnwick, la pratique a été abandonnée; d'autre part,
« à Édimbourg et à Croydon où les meilleurs résultats de prairies
« ont été obtenus, l'application au blé et autres récoltes alter-
« nées ne fait point partie de l'ensemble du système adopté.

8° « A en juger par les résultats des expériences et par ceux de
« la pratique ordinaire, on doit admettre que l'emploi le plus
« avantageux de l'eau, dans la majorité des cas, consistera à l'ap-
« pliquer à raison de 12.000 mètres cubes environ par hectare de
« prairie ordinaire ou de ray-grass d'Italie; mais le fermier ne
« payerait pas 8 centimes ni probablement 5 centimes le mètre
« cube, *tout le long de l'année*, pour répandre sur sa terre une
« eau de la richesse moyenne de celle de la métropole (exclusion
« faite des averses). »

En résumé, il ressort de l'ensemble de ces conclusions que l'eau d'égout doit être employée, de préférence, à l'arrosage des prairies permanentes, et qu'avec cette nature de culture, la dose, à l'hectare, peut être poussée jusqu'à 12 ou 15.000 mètres cubes, si le terrain offre des facilités suffisantes à l'absorption et à l'écoulement des liquides. Mais, en même temps, on ne doit pas s'attendre à ce que les cultivateurs consentent à payer cette eau à un prix élevé, s'ils sont obligés d'en faire usage toute l'année, c'est-à-dire sans égard pour les convenances de leurs récoltes.

NOTE *e*.

Les lignes qui suivent sont empruntées au rapport adressé en 1865 au Conseil métropolitain des travaux par la commission chargée de visiter les irrigations de Rugby, Croydon, Carlisle et Édimbourg. Ce document est doublement intéressant, en ce qu'il est, d'une part, le plus récent qui ait été publié sur ce sujet et en ce qu'il émane, d'autres part, d'hommes essentiellement pratiques, qui avaient à

résoudre une question toute semblable pour la ville même qu'ils administraient (*).

« .... Notre comité s'est occupé d'abord d'examiner la ville de « Rugby, où l'eau d'égout est appliquée à la terre depuis onze ans. « Sa population est de 8.000 âmes, et la totalité des déjections de « la ville est amenée, par un conduit de 45 centimètres de dia- « mètre, à des pompes à feu, à l'ouest du North Western Railway, « où, après une filtration sommaire à travers des claies en osier, « elle est élevée à une hauteur de 6 à 9 mètres pour être distribuée « sur les terres.

« Les opinions différant beaucoup sur le mérite des opérations « conduites à Rugby, il importe d'expliquer que la surface totale « consacrée à l'irrigation est d'environ 180 hectares, dont 160 ap- « partiennent à M. Walker et ont été affermés par M. Campbell, et « dont 6 ont été le champ d'expériences de M. Lawes, pour le « compte de la commission royale.

« La qualité et le niveau du sol varient beaucoup : la surface est « généralement formée d'une argile compacte, passant parfois au « sable, avec sous-sol argileux ; certaines portions sont très-peu au- « dessus du niveau des rigoles dans lesquelles elles s'égouttent, « d'autres sont au moins à 9 mètres plus haut. On doit naturelle- « ment s'attendre à ce que les résultats obtenus varient un peu. Le « tout est disposé en gazon, ou, pour parler plus exactement, l'eau « d'égout a été appliquée à de vieux pâturages, sans autres travaux « préparatoires qu'une série de petites rigoles et de fossés qui re- « çoivent l'eau de la conduite de décharge et la distribuent par « gravitation sur la surface.

« Naguère la distribution s'effectuait à la lance, mais M. Walker « l'a abandonnée comme trop coûteuse et comme restreignant sans « nécessité l'écoulement de l'eau.

« La différence entre les terres arrosées et les autres sautait aux « yeux ; en outre les premières différaient notablement entre elles, « par suite de l'inégale répartition de l'eau d'égout, selon que la « terre avait été disposée en plans inclinés ou n'avait reçu aucune « préparation spéciale.

(*) Quelques-uns des chiffres fournis par la commission diffèrent de ceux que nous avons donnés nous-même dans notre rapport sur l'Angleterre de 1862-1863 (publié en 1864). Mais nous pensons que ceux de la commission méritent plus de confiance, d'abord parce que sa visite des lieux est postérieure à la nôtre, et ensuite parce que cette visite a été faite par des personnes investies d'une qualité qui devait faciliter beaucoup leurs investigations.

« M. Walker n'a pas le moyen de mesurer exactement la « quantité d'eau donnée à la terre, mais il l'estime entre 1.250 « et 2.500 mètres cubes à l'hectare, dans l'année, en cinq ou six « arrosages. Il paye pour cela 1.250 francs par an au conseil « local.

« Votre comité n'a pu obtenir exactement, ni du propriétaire « ni du fermier, le chiffre du rendement à l'hectare, sous forme « soit de coupe verte, soit de foin, soit d'herbe mangée sur place, « les trois modes ayant été concurremment employés; mais ils ont « dit que l'hectare qui pouvait être loué précédemment 110 francs « par an, pourrait l'être aujourd'hui à 220 francs au moins, en « sorte que la valeur aurait doublé. De plus, le propriétaire est « convaincu que ni la disposition du terrain, ni le mode d'emploi « de l'eau, ni l'espèce de gazon ne sont tout ce qu'ils pourraient « être. Toutefois nous devons ajouter que le premier fermier paraît « avoir abandonné sa ferme sans répugnance, et que le second ex- « prime de grands doutes sur le bénéfice que l'irrigation aurait « procurés.

« Après Rugby, votre comité a visité Croydon, où il a trouvé une « application de l'eau d'égout beaucoup plus complète. La terre « traitée confine Beddington Park, et consiste en 100 hectares d'un « sol glaiseux, reposant sur la craie; toute la surface possède une « bonne inclinaison vers la Wandle, éminemment favorable aux « succès de l'opération. L'eau d'égout est filtrée sommairement et « amenée par gravitation dans un canal ouvert au sommet des « terres; de là elle se distribue par de petits fossés ou tranchées, « et coule à la surface au moyen de rigoles temporaires tracées « çà et là par les laboureurs. La population dont les déjections « sont ainsi amenées sur les terres, est de 17.000 âmes; la dose « annuelle à l'hectare passe pour être de 7.500 mètres cubes; un « dixième de la surface totale est arrosé à la fois, en sorte que « chaque portion reçoit l'eau trente-six jours par an. Le liquide « coule environ pendant cinq heures sur la terre, et ce temps est « tout à fait suffisant pour le *déodoriser* et pour permettre aux « herbes de le dépouiller de ses matières fertilisantes. Après deux « ou trois jours d'irrigations, le flot qui abandonne les terres est à « peu près insipide, incolore et inodore. La plus grande partie de « la ferme porte du ray-grass d'Italie, qu'il faut renouveler tous « les trois ans, et les produits paraissent très-considérables; mais « quelques portions sont encore à l'état de prairies naturelles. Le « conseil de Croydon loue cette ferme à raison de 250 francs par « hectare et la sous-loue à M. Marriage sur le pied de 312f,50, de

« sorte qu'il réalise un bénéfice de 6.250 francs, qui vient en ré-
« duction des taxes locales. Votre comité ne pourrait assigner
« exactement le poids de l'herbe produite. Il y a quatre coupes
« annuelles et chacune se vend environ 500 francs par hectare;
« l'herbe est surtout employée pour nourrir à l'étable des vaches
« laitières. Les travaux préparatoires du sol, en vue de l'arrosage,
« ont coûté de 4 à 600 francs par hectare, desquels le conseil a
« payé 250 : la dépense pour la filtration sommaire est à peu près
« compensée par la vente des dépôts, qui atteint 1f,90 la charretée.

« A Carlisle, votre comité a trouvé une portion seulement de
« l'eau d'égout appliquée à la terre. La population totale est de
« 30.000 âmes. Pour 8.000 environ, les déjections se perdent à
« l'Eden par un conduit séparé, sous l'une des prairies occupées
« par M. Mac Dougall; pour les 22.000 autres, elles sont amenées
« par un aqueduc à un appareil à vapeur de cinq chevaux, qui les
« remonte à 3 mètres ou 3m,50 de haut, après qu'elles ont été dés-
« infectées par l'adjonction d'acide carbolique ou de *fluide désin-*
« *fectant* de M. Mac Dougall, dans la proportion de 55 litres pour
« 2.270 mètres cubes environ de liquide par jour, ce qui entraîne
« une dépense de 625 francs par an. L'eau ainsi traitée est versée
« par les pompes dans un fossé découvert, parallèle à la rivière
« Caldew, et elle est distribuée à la terre au moyen d'auges mobiles
« en fonte. Originairement, la distribution s'effectuait par des ri-
« goles tracées dans le sol, mais elles étaient comblées par les
« inondations, qui sont très-fréquentes en cet endroit, ou foulées
« par les bestiaux, de sorte que la dépense à faire pour les main-
« tenir en état était plus grande que celle des auges. M. Mac Dou-
« gall afferme du duc de Devonshire 42 hectares, mais il n'en
« arrose que 28 situés entre les rivières Caldew et Eden, et le Canal
« Calédonien.

« Tout le sol est sableux et très-poreux, laissant filtrer l'eau
« librement, et il est disposé en pâturage ordinaire. Les prairies
« ne paraissent pas avoir reçu de gazon artificiel, et elles sont en-
« tièrement broutées par le bétail. Aucune partie du fourrage n'est
« coupée et exportée; conséquemment, le résultat net est difficile
« à connaître. Votre comité a appris que chaque portion était
« irriguée quatre fois par an; la dose à l'hectare ne paraît pas
« très-exactement fixée, mais en admettant un débit moyen de
« 2.000 mètres cubes par jour, ce serait une dose de 20 à 22.000
« mètres cubes par hectare et par an. La surface totale est de
« 42 hectares, dont 28 arrosés et 14 non arrosés. Elle porte ha-
« bituellement 600 moutons et de 90 à 120 têtes de gros bétail,

« pour lesquels les nourrisseurs payent une redevance hebdoma-
« daire de 4f,40 à 5 francs, par tête de gros bétail, et de 0f,65 par « mouton; mais la meilleure mesure de la valeur, c'est ce fait, « que M. Mac Dougall vient justement de sous-louer le tout à « M. Hetherington, boucher de Carlisle, pour une année, au « prix de 20.000 francs, ou à raison d'un revenu imposable de « 12.000 francs.

« Carlisle est la seule ville visitée par le comité, où l'on ait essayé « d'empêcher la putréfaction de l'eau d'égout; quant à Rugby, « Croydon et Édimbourg, c'est l'application même au sol qui a « pour résultat de diminuer l'odeur incommode. Dans aucun en- « droit il n'était possible de se méprendre sur la présence des « liquides d'égout, tout étendus qu'ils fussent, coulant en abon- « dance dans les canaux de distribution; mais, à Croydon, l'eau à « sa sortie n'en conservait nul indice. A Édimbourg, où la quantité « de liquide appliqué est plus grande, la purification était moins « complète.

« A Carlisle, le pâturage qui recevait l'eau d'égout était beau et « de bonne qualité, peut-être meilleur qu'aux autres endroits : on « pourrait l'attribuer à ce que le bétail est gardé dessus, mais on a « donné pour raison que l'acide carbolique ou phénique employé « prévenait la décomposition, de sorte que l'azote contenu dans « le liquide ne se combinait pas avec l'hydrogène ou avec l'acide « carbonique pour former de l'ammoniaque libre ou du carbonate « d'ammoniaque, deux composés qu'on accuse de stimuler les « grosses herbes (lesquelles, par leur rapide développement, étouf- « fent les espèces plus fines et moins robustes), mais que cet azote « était fourni aux racines des plantes dans l'état même où il se « trouvait originairement dans l'eau d'égout, et n'était libéré « qu'en tant que de besoin, au fur et à mesure qu'il était absorbé « par la végétation. On a dit aussi plus tard à votre comité qu'un « autre avantage résultant de l'emploi de l'acide carbolique était « la destruction des insectes parasites; mais votre comité s'ab- « stient soigneusement d'exprimer une opinion sur aucun de ces « points, désirant simplement rapporter ce qu'il a vu et entendu.

« Édimbourg est le dernier endroit visité par votre comité. La po- « pulation totale est de 170.000 âmes, mais 80.000 seulement appar- « tiennent à la région dont les eaux servent à l'irrigation. Il faut rap- « peler aussi que, tandis qu'à Croydon et à Carlisle presque toutes « les maisons envoient leurs matières fécales aux égouts, la plus « grande partie, au contraire, de celles du vieux Édimbourg sont « dépourvues de cette disposition, et les excréments sont emportés

« chaque jour avec des charrettes. Cet état de choses affecte consé-
« quemment la valeur de l'eau d'égout qui sort de la ville par un
« ruisseau découvert, du côté est, à un endroit nommé Sunny Bank,
« sur la route de Berwick. L'eau a été, sur ce point, employée à l'ar-
« rosage, il y a plus de cent ans, et elle l'est encore, le ruisseau
« contournant une prairie très-favorablement disposée pour cette
« opération. De là elle coule au nord jusqu'à la ferme de Lochend,
« comprenant environ 32 hectares d'argile ou de sable, avec sous-
« sol rocheux, occupée par M. Scott qui, pendant ces dix dernières
« années, s'est donné beaucoup de mal pour appliquer l'eau dans
« les meilleures conditions possibles. Il peut arroser une partie
« par gravitation : pour le reste, il a fait construire une roue hy-
« draulique de quatre à cinq chevaux, faisant marcher quatre
« pompes qui remontent l'eau sur 5 hectares, moyennant une dé-
« pense annuelle de 250 à 300 francs. La majeure partie de sa
« terre porte du ray-grass d'Italie, qu'il faut labourer et réense-
« mencer tous les trois ans. Il fait trois coupes par an et arrose
« trois fois entre deux coupes; sur 12 hectares il a obtenu cinq
« coupes. Il vend tout le produit à des nourrisseurs de vaches :
« il n'a pas le compte du poids, mais a il assuré que sa terre, qu'on
« aurait pu louer auparavant 320 francs l'hectare, rapportait au-
« jourd'hui 1.500 francs l'hectare. M. Scott a aussi un bassin ou ré-
« servoir, dans lequel il laisse l'eau déposer et d'où il retire une
« quantité considérable de matière noire, de nature animale, qu'il
« estime un engrais très-actif.

« Les Craigentinny meadows sont plus connus que les prairies
« de Lochend. Elles sont sur le bord de la mer et longent la route
« entre Leith et Portobello, à environ 2.300 mètres d'Édimbourg;
« elles sont la propriété de M. Samuel Christy Miller. Il y a là en tout
« une centaine d'hectares, dont 80 sont arrosés par gravitation et
« 20 au moyen d'une machine à vapeur. Leur nature varie beau-
« coup : la partie qui est le plus près de la mer, appelée Figgate
« Whims, est absolument formée d'un sable pur qui est ramené
« à la surface par un simple coup de bêche; mais à l'ouest de la
« route, le sol est formé d'un bon limon, passant à l'argile com-
« pacte près dés bâtiments.

« L'eau d'égout arrive de la ville par un canal découvert et est
« distribuée par des rigoles sur la surface de la terre, laquelle est
« dans des conditions plutôt favorables, par suite d'une bonne in-
« clinaison vers la mer. Les renseignements obtenus sur les lieux
« par votre comité, relativement à la quantité d'eau appliquée,
« n'ont pas été concluants, car aucun moyen mécanique de jau-

« geage n'ayant été prévu, il est impossible de faire une estimation « même approximative. Mais il n'y a aucun doute sur les résul- « tats eux-mêmes : les coupes d'herbes sont affermées annuelle- « ment à l'enchère et le prix atteint de 1.250 à 1.750 francs par « hectare, dans la partie basse, et même, sur quelques points de la « partie haute, il s'est élevé jusqu'à 2.500 francs par hectare. « L'acheteur a le droit de faire autant de coupes qu'il veut, du « 1er avril au 10 octobre, époque où le propriétaire rentre en « jouissance de sa terre et fait pâturer des moutons pendant six « semaines avant l'hiver. Certaines parties de terrain passent pour « être irriguées depuis deux cents ans, mais la plus grande partie « l'est seulement depuis trente-cinq ans : elle a été alors ense- « mencée en gazon varié et ne l'a pas été de nouveau. La terre qui « avoisine la côte ne valait pas auparavant 16 francs de loyer par « hectare : elle en vaut aujourd'hui plus de 1.300. Il faut faire « observer que ni M. Scott, à Lochend, ni M. Miller, à Craigen- « tinny, ne payent rien à la ville d'Édimbourg pour l'eau d'égout, « qui, depuis un temps immémorial, s'est écoulée au ruisseau où « ils s'alimentent.

« Vos commissaires pensent que les renseignements qu'ils ont « recueillis aideront à aboutir à une bonne conclusion en ce qui « concerne les eaux d'égout de Londres. A Croydon, ils ont trouvé « que l'opération réussissait, quoique sur une échelle limitée, et « ils ont été informés que les résultats étaient rémunérateurs. A « Carlisle, où ils ont vu le seul procédé en usage pour prévenir « la putréfaction de l'eau d'égout, ils ont appris les avantages « indirects très-curieux qu'on lui attribue, ainsi qu'il est dit ci- « dessus. A Édimbourg, ils ont été témoins des bénéfices résul- « tant, après plusieurs années d'expérience, de l'utile application « de l'eau d'égout au sable de la mer.

« ..... Quelque incertitude paraît subsister encore relativement « à l'espèce de gazon qui convient le mieux à la terre arrosée avec « l'eau d'égout, ainsi que sur le point de savoir si quelque autre « nature de récolte pourrait être cultivée avec avantage..... »

NOTE *f.*

Nous donnons ci-après le texte des passages de l'Acte les plus essentiels à notre objet.

« ..... Attendu qu'il serait d'un haut intérêt public que l'eau « d'égout de l'émissaire nord pût être recueillie et transportée

« pour fertiliser les terres situées à l'est de Londres, et le surplus « convoyé à la mer près des sables de Foulness et de Dengie, dans « le comté d'Essex; et attendu que divers marais, bancs de limon, « bancs de sable et terrains incultes d'une vaste étendue dans le « comté d'Essex, connus sous les noms de Foulness Sands, de « Dengie Flats, de Saint Peter's Sands et de Ray Sands, sont préci- « sément couverts à la marée haute et conséquemment improduc- « tifs, mais sont susceptibles d'être repris sur la mer et utilisés « pour l'agriculture..... et attendu que ce résultat serait grande- « ment facilité par l'application de l'eau d'égout, et que l'eau « d'égout de la partie nord de Londres peut être avantageusement « amenée à ces terres et employée dans ce but.....

« (Art. 5.) L'honorable Henri William Petre, l'honorable William « Napier, l'honorable major Vereker, Sir William Russell, Samuel « Lucas, William Hope et toutes autres personnes et corporations « qui ont déjà souscrit ou qui souscriront ultérieurement pour « cette entreprise, seront unis en une Compagnie aux fins susmen- « tionnées, et resteront incorporés sous le nom de *Metropolis* « *sewage and Essex Reclamation Company*.

« (Art. 14.) Le capital actions de la Compagnie sera de 52.500.000 « francs, divisé en deux cent dix mille actions de 250 francs cha- « cune, et ce capital sera exclusivement employé à réaliser les « objets et fins du présent Acte.

« (Art. 15)... Il sera loisible aux administrateurs, avec la sanc- « tion des trois cinquièmes au moins des voix des actionnaires « présents..... de porter, par la création de nouvelles actions, le « capital de la Compagnie au chiffre total de 75 millions de francs.

« (Art. 19.) La Compagnie pourra émettre des obligations pour « telle somme qu'elle jugera à propos, jusqu'à concurrence du « chiffre de 17.500.000 francs, à la condition que la totalité du ca- « pital actions primitif de 52.500.000 francs ait été souscrit *bonâ* « *fide*.

« (Art. 21.) Si la Compagnie crée un nouveau capital actions « (en conformité de l'article 15), elle pourra, en addition de la « somme susdite de 17.500.000 francs, émettre de nouvelles obli- « gations jusqu'à concurrence du tiers du nouveau capital ainsi « créé.

« (Art. 33.) Sous les conditions du présent Acte et des Actes « auxquels il se réfère, la Compagnie pourra endiguer, dévier et « reprendre sur la mer les marais, bancs de limon, bancs de sable « et terres incultes désignés aux plans et documents déposés...

« (Art. 35.) La totalité de ces terrains sera endiguée et reprise

« dans le délai de quatorze ans à partir de la promulgation de cet « Acte, à moins que ce délai ne soit étendu par Sa Majesté en son « conseil...

« (Art 36.) Sous les conditions de cet Acte, la Compagnie pourra « modifier et détourner les lits des ruisseaux, cours d'eau, fossés « et tous débouchés quelconques par lesquels les eaux se déchar- « gent actuellement dans la mer à travers lesdits terrains, et elle « pourra convoyer ces eaux à la mer par le moyen de nouveaux « canaux pratiqués dans ces terrains....

« (Art. 37.) La Compagnie exécutera et entretiendra à ses frais « en bon état, tous les ouvrages nécessaires pour évacuer les « eaux.... de façon qu'un écoulement efficace soit assuré aux pro- « priétés avoisinant lesdits terrains....

« (Art. 40.) Pour mieux assurer cet écoulement, la Compagnie « est autorisée par le présent Acte à pénétrer, au besoin, dans « les propriétés avoisinantes et à y déboucher, draguer ou appro- « fondir tout conduit, canal, fossé ou cours d'eau et à le relier « avec les ouvrages analogues projetés par la Compagnie sur ses « terrains, en évitant tout dommage inutile.

« (Art. 63.) La Compagnie pourra fertiliser, arroser et cultiver « à sa guise les terrains repris sur la mer, les dessécher et les amé- « liorer de toute autre manière, et conduire telles opérations agri- « coles qu'elle jugera à propos, y compris l'élève et l'engrais du bé- « tail, et elle pourra ériger dans ce but telles maisons de ferme et « tels bâtiments d'exploitation qu'elle trouvera convenables.

« (Art. 64.) Elle pourra louer toute partie de ses terrains, pour « tel terme, à telle rente annuelle ou autre, et sous telles condi- « tions et restrictions qu'elle jugera à propos; mais, pour une « durée de bail excédant vingt et un ans, elle ne pourra conclure « qu'avec l'approbation du Conseil métropolitain.

« (Art. 65.) Elle pourra, après que les terrains auront été endi- « gués et repris sur la mer, les hypothéquer ainsi qu'il lui con- « viendra, avec l'approbation du Conseil métropolitain.

« (Art. 66.) Et pour mettre la Compagnie en état de transpor- « ter tout ou partie des eaux d'égoût de Londres et de les appliquer « à la fertilisation et à l'arrosage des terres, elle est autorisée à « établir et conserver les conduits et canaux ci-après mentionnés « ainsi que tous les ouvrages qui en dépendent; savoir :

« 1° Un conduit, appelé *conduit principal*, partant de l'émis- « saire nord de Londres et aboutissant au Crouch, dans la paroisse « de Rawreth;

« 2° Un conduit, appelé *branche de Dengie*, partant de l'extré-

« mité du conduit principal et aboutissant près de Tillingham, » dans la paroisse de Dengie ;

« 3° Un conduit, appelé *branche de Foulness*, partant de l'extré- « mité du conduit principal et aboutissant à Eastwick Head, dans « la paroisse de Foulness ;

« 4° Un conduit, appelé *branche de Woolwich*, partant du réser- « voir de Barking Creek et aboutissant au conduit principal, dans « la paroisse de Dagenham.

« Art. 70. La section du conduit principal ne sera pas infé- « rieure à l'aire d'un cercle de 2m,80 de diamètre, et sa pente « moindre de 20 centimètres par kilomètre; les branches de « Dengie et de Foulness seront suffisantes pour écouler toute l'eau « passant par le conduit principal ; et tous ces conduits seront « construits en briques ou autres matériaux convenus entre la « Compagnie et le Conseil métropolitain, et auront des débouchés « convenables à la mer.

« (Art. 71.) La Compagnie pourra, sous les conditions prévues « au présent Acte, établir et conserver lesdits conduits suivant « les lignes et sur les terrains désignés aux plans et documents « déposés, et elle pourra pénétrer sur ces terrains, les prendre et « en disposer pour les besoins de ses travaux.

« (Art. 72.) Les pouvoirs conférés par le présent Acte pour l'ex- « propriation des terrains nécessaires aux travaux de la Compagnie « ne pourront plus être exercés après la septième année, à partir « de la promulgation de cet Acte.

« (Art. 77.) La Compagnie prendra ses mesures pour que les « conduits et ouvrages autorisés par cet Acte, soient construits, « couverts et entretenus de façon à ne pouvoir incommoder le « voisinage ni nuire à la santé publique.

« (Art. 78.) La Compagnie établira et entretiendra les ouvrages « suivants pour les besoins des propriétés riveraines..... (Suit une « énumération analogue à celle qui concerne les chemins de fer, « pour le passage des habitants, l'écoulement des eaux, etc.)

« (Art. 100.) Lesdits conduits seront terminés dans le délai de « dix ans, à partir de la promulgation du présent Acte, et à l'expi- « ration de cette période les pouvoirs conférés par cet Acte à la « Compagnie cesseront, excepté pour la portion de ces conduits « qui demeurera alors à exécuter.

«(Art. 102.) Sous les conditions de cet Acte, la Compagnie pourra « employer et approprier l'eau d'égout à l'irrigation et à la ferti- « lisation des terres lui appartenant ou affermées par elle ; elle « pourra aussi, d'accord avec les propriétaires ou les tenanciers

« de tous terrains, leur fournir l'eau d'égout pour l'irrigation et la « fertilisation de leurs terres, à la condition qu'aucune irrigation « n'ait lieu dans le rayon de 3.200 mètres de la métropole, ainsi « qu'elle est délimitée par le *Metropolis management Act*, 1855.

« (Art. 103.) Dans le but de fournir l'eau d'égout pour l'irriga- « tion des terres, la Compagnie pourra, sous les conditions de cet « Acte, pratiquer toutes les ouvertures nécessaires dans les con- « duits, exécuter et conserver..... tous ouvrages et appareils néces- « saires dans les terrains lui appartenant ou lui ayant été affermés, « ou sur lesquels elle a un droit de servitude, ainsi que dans tous « les autres terrains, avec le consentement des propriétaires ou « tenanciers; elle pourra aussi exécuter et conserver tels conduits, « tuyaux ou drains couverts qu'elle jugera nécessaires, sous le sol « de toute route ou chemin public.

« (Art. 105.) Avant qu'aucune voie publique soit ouverte ou « coupée par la Compagnie, elle en donnera avis aux personnes « dans les attributions desquelles la route est placée, en écrivant « au moins trois jours avant de commencer les opérations.

« (Art. 110.) Rien, dans cet Acte, ne met la Compagnie à l'abri de « toute action ou poursuite en dommages-intérêts pour le cas où « elle nuirait de quelque façon en conduisant ou disposant des « eaux d'égout et de leurs résidus, ou pour le cas où quelque in- « convient résulterait d'un manque de réparation à ses ouvrages.

« (Art. 111.) Il sera loisible à l'un des principaux secrétaires « d'État de Sa Majesté, et à sa discrétion, sur l'avis d'un dommage « causé par l'exécution de quelque ouvrage, par le traitement ou « l'emploi de l'eau d'égout... de diriger telle action ou de prendre « telle autre mesure contre la Compagnie qu'il pourra juger à pro- « pos, en vue de prévenir ou de supprimer la cause du dommage « susmentionné.

« (Art. 115.) La convention déjà rappelée, passée entre le Conseil « métropolitain des travaux et MM. Napier et Hope, à la date du « 24 février 1865, dont une copie est annexée à cet Acte, est con- « firmée et ratifiée, excepté en ce qui pourrait être contraire au « présent Acte, et ladite convention, avec tous les bénéfices de la « concession des eaux d'égout, et tous les autres droits, priviléges « et avantages conférés aux concessionnaires, est transportée à la « Compagnie..... substituée sous tous les rapports auxdits MM. Na- « pier et Hope..... »

(Extraits du *Metropolis sewage and Essex reclamation Act*, en date du 19 juin 1865.)

Voici maintenant quelques-unes des dispositions principales de

la convention passée, le 24 février 1865, entre le Conseil métropolitain et MM. Napier et Hope :

« (Art. 1er.) Le Conseil métropolitain concède à MM. Napier et « Hope le privilége exclusif et l'absolue propriété des eaux d'égout « de la région nord de Londres, recueillies dans l'émissaire, y « compris les dépôts et résidus des réservoirs, pour une période de « cinquante ans à compter de la quatrième année qui suivra la pro- « mulgation de l'Acte parlementaire.....

« (Art. 5.) L'eau d'égout sera délivrée aux concessionnaires en « l'état où elle se trouve naturellement dans l'émissaire.

« (Art. 10.) Toutes les communications entre les ouvrages des « concessionnaires et l'émissaire, le réservoir et les autres ou- « vrages du Conseil, seront exécutées et entretenues aux frais des « concessionnaires; mais le mode d'exécution de ces communica- « tions sera soumis à l'approbation préalable de l'ingénieur du Con- « seil.....

« (Art. 18.) En fournissant de l'eau d'égout pour l'irrigation des « terres situées à droite et à gauche de leurs aqueducs, les conces- « sionnaires ne devront délivrer que la quantité d'eau qui, eu « égard à la nature du sol et de la culture, pourra être absorbée de « façon à prévenir tout écoulement de matières nuisibles dans les « puits, viviers, sources, rivières et cours d'eau situés à droite et « à gauche des aqueducs.

« (Art. 23.) Le Conseil aura pouvoir à toute époque pour visiter « et inspecter par lui-même et ses agents les travaux de l'entre- « prise, aussi bien pendant leur exécution qu'après leur achève- « ment.

« (Art. 24.) Après payement des charges des emprunts contractés « par les concessionnaires, en vertu de la présente convention, et « des dépenses de l'exploitation, le profit net des concessionnaires « sera affecté et partagé comme il suit :

« Les profits nets, jusqu'à concurrence d'un intérêt annuel « maximum de 5 p. 100 à servir aux actionnaires, appartiendront « exclusivement aux concessionnaires; les profits nets, après pré- « lèvement desdits intérêts de 5 p. 100, jusqu'à concurrence d'un « nouveau revenu de 10 p. 100 par an à ajouter auxdits intérêts, se- « ront partagés par moitié entre les concessionnaires et le Conseil « métropolitain; les profits nets, après prélèvement desdits intérêts « de 5 p. 100, et jusqu'à concurrence de 20 p. 100 à ajouter auxdits « 5 p. 100, seront, pour toute la portion qui excède le revenu addi- « tionnel susdit de 10 p. 100 servi aux capitaux, partagés entre

« les concessionnaires et le Conseil dans la proportion de 1/4 aux « concessionnaires et de 3/4 au Conseil.

« Tout profit net au delà sera partagé par moitié entre les con- « cessionnaires et le conseil.

« Le présent article aura son effet dès l'expiration de la qua- « trième année qui suivra la promulgation de l'Acte parlementaire.

« (Art. 25.) Les concessionnaires auront des comptes réguliers, « constamment à jour..... et le Conseil aura le droit..... d'inspecter « et d'examiner tous les livres de comptes des concessionnaires, « et de prendre gratuitement tels extraits ou copie qu'il jugera à « propos.

« (Art. 28.) En donnant avis aux concessionnaires deux ans au « moins avant l'expiration de la trentième année de la concession, « le Conseil aura le droit, à l'expiration de cette trentième année, « de requérir la révision par des arbitres des stipulations de la « convention relative à la répartition des profits. »

NOTE

SUR LES POIDS DES DIFFÉRENTS CERCLES DU RÉSEAU PENTAGONAL.

Par M. ÉLIE DE BEAUMONT.

« Dans son ingénieux et remarquable mémoire sur le réseau pentagonal inséré dans les *Annales des Mines*, 6e série, t. X, p. 353, M. Pouyanne a soumis à une rectification la formule que j'avais donnée, dans ma notice sur les systèmes de montagnes, p. 971, pour déterminer les poids des différents cercles du réseau. J'ai reconnu de mon côté l'inexactitude de la formule que j'avais donnée et la nécessité de la rectifier; je crois même que M. Pouyanne n'a aperçu qu'une partie des inexactitudes dont elle est affectée, ce qui oblige à pousser la rectification plus loin qu'il ne l'a fait.

« J'ai consigné cette rectification indispensable dans l'explication du *Tableau des données numériques qui fixent, sur la surface de la France et les contrées limitrophes, les points où se coupent mutuellement* 29 *cercles du réseau pentagonal*, inséré en juin et juillet 1866, dans les *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'académie des sciences*. Voici la nouvelle méthode que j'ai proposée pour déterminer les poids des cercles du réseau (*Comptes rendus*, t. LXIII, p. 111. — 23 juillet 1866).

« Les poids que j'assigne ici aux cercles du réseau diffèrent pour la plupart de ceux que j'ai donnés dans ma notice sur les systèmes de montagnes. Depuis la publication de ma notice, j'ai reconnu que la formule dont j'avais déduit les poids des cercles est inexacte, et j'ai déterminé ces

poids par une méthode nouvelle que je vais exposer sommairement.

« Le réseau pentagonal divise la surface de la sphère en 120 triangles rectangles scalènes égaux et symétriques deux à deux. Un point quelconque pris dans l'intérieur de l'un de ces triangles a son homologue dans tous les autres; d'où il résulte qu'il y a toujours sur la surface de la sphère 120 points d'une espèce déterminée quelconque; par exemple, il y a 120 points *c*. Cette règle présente cependant des exceptions *apparentes*. Si l'on prend un point sur les contours de l'un des 120 triangles rectangles scalènes, il appartiendra à 2 triangles à la fois, et il n'aura que 59 homologues; de sorte qu'il n'y aura dans tout le réseau que 60 points de son espèce. Mais ce point, par cela seul qu'il appartient à 2 triangles, doit être considéré comme *double*; on peut le regarder comme résultant de la réunion de 2 points qui, placés symétriquement dans 2 triangles contigus, se sont rapprochés de manière à se confondre et à n'en plus former qu'un seul, placé sur la ligne de séparation des 2 triangles. Ainsi, parmi les points principaux du réseau, il y a 60 points *a*, 60 points *b*, 60 points T qui peuvent être considérés respectivement comme composés de 2 points $\dot{a}$, de 2 points $\dot{b}$, de 2 points $\dot{T}$, de manière qu'ils représentent 120 points $\dot{a}$, 120 points $\dot{b}$, 120 points $\dot{T}$, qu'on peut supposer placés deux à deux à des distances infiniment petites. On comprendra de même que chacun des 30 points H placés à la réunion des angles droits de 4 triangles rectangles scalènes peut être décomposé en 4 points $\dot{H}$; que chacun des 20 points I placés à la réunion des angles de 60 degrés de 6 triangles rectangles scalènes peut être décomposé en 6 points $\dot{I}$, et que chacun des 12 points D placés à la réunion des angles de 36 degrés de 10 triangles rectangles scalènes peut être décomposé en 10 points $\dot{D}$.

« Les points principaux du réseau étant placés deux à deux aux extrémités d'un même diamètre, il suffit pour l'ob-

jet actuel d'en considérer la moitié, c'est-à-dire ceux seulement qui sont compris dans un hémisphère; cela dispense d'énoncer d'aussi grands nombres et éloigne certains embarras.

« Le réseau pentagonal renferme 362 points principaux, et chaque hémisphère en renferme 181, savoir : 6 points D, 10 points I, 15 points H, 30 points T, 30 points *a*, 30 points *b* et 60 points *c*, et ces 181 points principaux peuvent se décomposer en 420 points simples, savoir : 60 points $\dot{D}$, 60 points $\dot{I}$, etc.

« Si l'on joint par un arc de grand cercle chacun des points simples $\dot{D}$, $\dot{I}$, $\dot{H}$, $\dot{T}$, $\dot{a}$, $\dot{b}$, $\dot{c}$ à tous les autres, on a $\frac{420.419}{2} =$ 87,990 cercles qu'on peut appeler simples, parce que chacun d'eux est déterminé par la seule condition de passer par 2 points simples.

« Si l'on joint chacun des 181 points principaux d'un hémisphère à tous les autres, on aura en principe $\frac{181.180}{2} =$ 16,290 cercles, nombre qui devra être réduit considérablement si on veut le ramener à celui des cercles réellement distincts, parce que les cercles ainsi obtenus se superposeront en partie les uns aux autres.

« Ces deux systèmes de cercles, en nombre si différent, ont entre eux cependant les rapports les plus intimes, car le premier système deviendra le second si on suppose que parmi les points simples $\dot{D}$, $\dot{I}$, $\dot{H}$, $\dot{T}$,..., désignés par des lettres pointées, les homologues se réunissent entre eux de manière à recomposer les points principaux D, I, H, T,..., dont ils ne sont pour ainsi dire que des subdivisions. Seulement, dans cette réunion, les cercles $\dot{D}\dot{D}$, $\dot{I}\dot{I}$, $\dot{D}\dot{I}$,..., se superposeront en nombre plus ou moins grand, et on pourra mesurer l'importance des cercles du réseau au nombre des cercles simples qui se seront superposés pour les former. Les seuls cercles qui ne présenteront pas de superpositions

seront les cercles *cc*; chaque cercle T*c* résultera de la superposition de deux cercles Ṫ*c*, chaque cercle H*c* résultera de la superposition de quatre cercles Ḣ*c*, et ainsi des autres.

« Cela posé, je représente par 1 le poids d'un cercle simple tel que *cc*, par 2 le poids d'un cercle tel que T*c* qui résulte de la superposition de deux cercles simples, par 4 le poids d'un cercle tel que H*c* qui résulte de la superposition de quatre cercles simples, etc., et en général j'appelle *poids* d'un cercle du réseau le nombre des cercles simples qui se sont superposés pour le former.

« On conçoit que pour obtenir les poids de tous les cercles du réseau il suffit d'analyser avec précision la transformation qui fait passer le premier de nos deux systèmes de cercles au second.

« Pour y parvenir d'une manière simple et facile à saisir, il faut représenter les 87,990 cercles du premier système par un tableau méthodique où chacun d'eux ait sa place distincte, et, avant tout, il faut désigner par des notations précises les 420 points simples qui servent de base au premier système de cercles. Pour cela, il suffit de numéroter depuis 1 jusqu'à 60 les 60 points Ḋ, les 60 points İ, etc.... La série totale de nos 420 points sera alors représentée ainsi :

$$\dot{D}_1, \dot{D}_2, \dot{D}_3, \ldots, \dot{I}_1, \dot{I}_2, \dot{I}_3 \ldots, \dot{H}_1, \dot{H}_2 \ldots, \dot{a}_1, \dot{a}_2, \ldots, \dot{b}_1, \dot{b}_2, \ldots, c_1, c_2 \ldots$$

« Pour former le tableau de tous les cercles qu'on peut obtenir en joignant ces différents points deux à deux, on peut commencer par l'écrire comme il suit, sauf à le réduire ensuite :

$\dot{D}_1\dot{D}_1,\ \dot{D}_1\dot{D}_2,\ \dot{D}_1\dot{D}_3, \ldots, \dot{D}_1\dot{I}_1,\ \dot{D}_1\dot{I}_2,\ \dot{D}_1\dot{I}_3, \ldots, \dot{D}_1\dot{H}_1,\ \dot{D}_1\dot{H}_2, \ldots\ldots, \dot{D}_1\dot{b}_1,\ \dot{D}_1\dot{b}_2, \ldots, \dot{D}_1c_1, \ldots, \dot{D}_1c_{59},\ D_1c_{60}$

$\dot{D}_2\dot{D}_1,\ \dot{D}_2\dot{D}_2,\ \dot{D}_2\dot{D}_3, \ldots, \dot{D}_2\dot{I}_1,\ \dot{D}_2\dot{I}_2,\ \dot{D}_2\dot{I}_3, \ldots, \dot{D}_2\dot{H}_1,\ \dot{D}_2\dot{H}_2, \ldots\ldots, \dot{D}_2\dot{b}_1,\ \dot{D}_2\dot{b}_2, \ldots, D_2c_1, \ldots, \dot{D}_2c_{59},\ D_2c_{60}$

$\dot{D}_3\dot{D}_1,\ \dot{D}_3\dot{D}_2,\ \dot{D}_3\dot{D}_3, \ldots, \dot{D}_3\dot{I}_1,\ \dot{D}_3\dot{I}_2,\ \dot{D}_3\dot{I}_3, \ldots, \dot{D}_3\dot{H}_1,\ \dot{D}_3\dot{H}_2, \ldots\ldots, \dot{D}_3\dot{b}_1,\ \dot{D}_3\dot{b}_2, \ldots, D_3c_1, \ldots, \dot{D}_3c_{59},\ D_3c_{60}$

$\dot{I}_1\dot{D}_1,\ \dot{I}_1\dot{D}_2,\ \dot{I}_1\dot{D}_3, \ldots, \dot{I}_1\dot{I}_1,\ \dot{I}_1\dot{I}_2,\ \dot{I}_1\dot{I}_3, \ldots, \dot{I}_1\dot{H}_1,\ \dot{I}_1\dot{H}_2, \ldots\ldots, \dot{I}_1\dot{b}_1,\ \dot{I}_1\dot{b}_2, \ldots, \dot{I}_1c_1, \ldots, \dot{I}_1c_{59},\ \dot{I}_1c_{60}$

$\dot{I}_2\dot{D}_1,\ \dot{I}_2\dot{D}_2,\ \dot{I}_2\dot{D}_3, \ldots, \dot{I}_2\dot{I}_1,\ \dot{I}_2\dot{I}_2,\ \dot{I}_2\dot{I}_3, \ldots, \dot{I}_2\dot{H}_1,\ \dot{I}_2\dot{H}_2, \ldots\ldots, \dot{I}_2\dot{b}_1,\ \dot{I}_2\dot{b}_2, \ldots, \dot{I}_2c_1, \ldots, \dot{I}_2c_{59},\ \dot{I}_2c_{60}$

$\dot{I}_3\dot{D}_1,\ \dot{I}_3\dot{D}_2,\ \dot{I}_3\dot{D}_3, \ldots, \dot{I}_3\dot{I}_1,\ \dot{I}_3\dot{I}_2,\ \dot{I}_3\dot{I}_3, \ldots, \dot{I}_3\dot{H}_1,\ \dot{I}_3\dot{H}_2, \ldots\ldots, \dot{I}_3\dot{b}_1,\ \dot{I}_3\dot{b}_2, \ldots, \dot{I}_3c_1, \ldots, \dot{I}_3c_{59},\ \dot{I}_3c_{60}$

$\dot{H}_1\dot{D}_1,\ \dot{H}_1\dot{D}_2,\ \dot{H}_1\dot{D}_3, \ldots, \dot{H}_1\dot{I}_1,\ \dot{H}_1\dot{I}_2, \ldots$

$\dot{H}_2\dot{D}_1,\ \dot{H}_2\dot{D}_2,\ \dot{H}_2\dot{D}_3, \ldots$

« La loi de formation de ce tableau est trop facile à saisir pour qu'il soit nécessaire de le développer davantage. S'il était complété, il formerait une sorte d'échiquier de 49 cases, 7 dans chaque rang horizontal, correspondant aux 7 lettres $\dot{D}$, $\dot{I}$, $\dot{H}$, $\dot{T}$, a, $\dot{b}$, c qui dans chaque couple sont écrites en seconde ligne, et 7 dans chaque colonne verticale correspondant aux 7 mêmes lettres qui dans chaque couple sont écrites en première ligne. Comme il y a 60 $\dot{D}$, de $\dot{D}_1$ à $\dot{D}_{60}$ inclusivement, 60 $\dot{I}$, de $\dot{I}_1$ à $\dot{I}_{60}$,..., chaque case de l'échiquier contient 60 fois 60 ou 3,600 couples, et l'échiquier entier en contient 49 fois 3,600 ou 176,400. Chaque couple de lettres représentant un cercle, on voit que le tableau, tel que j'ai commencé par l'écrire, dans le but de lui donner une complète symétrie, en représenterait un nombre plus que double de celui que nous avons calculé de prime abord; mais il y a dans ce tableau des suppressions et des réductions à opérer. Il présente, en effet, toutes les combinaisons possibles deux à deux des lettres $\dot{D}_1\dot{D}_2$,..., $\dot{I}_1\dot{I}_2$,..., a_1,..., c; mais, parmi ces combinaisons, il en est qui, par exception, ne peuvent représenter un cercle, et toutes les autres sont répétées deux fois.

« On remarquera, en effet, que le tableau complet présenterait 7 cases rectangulaires disposées en écharpe de l'angle supérieur de gauche à l'angle inférieur de droite,

dont chacune ne renfermerait qu'une seule lettre répétée deux fois dans chaque couple : la case des $\dot{D}$, la case des $\dot{I}$, la case des $\dot{H}$, etc.

« Or, dans la case des $\dot{D}$, je trouve en tête de la première ligne le couple $\dot{D}_1\dot{D}_1$; au second rang, dans la deuxième ligne, le couple $\dot{D}_2\dot{D}_2$; au troisième rang, dans la troisième ligne, le couple $\dot{D}_3\dot{D}_3$, et je trouverais successivement en suivant la diagonale de cette case $\dot{D}_4\dot{D}_4$, $\dot{D}_5\dot{D}_5$,..., $\dot{D}_{60}\dot{D}_{60}$; puis, sur la diagonale de la case des $\dot{I}$, $\dot{I}_1\dot{I}_1$, $\dot{I}_2\dot{I}_2$,..., mais tous ces couples représentent chacun un point combiné avec lui-même, et une pareille combinaison ne peut représenter un cercle. Il y a d'après cela 7 fois 60 ou 420 couples à supprimer comme ne représentant pas de cercles et ne figurant dans le tableau que par un motif de symétrie. Cela réduit le nombre des couples significatifs de chacune des 7 cases d'une seule lettre à 3,540, et le nombre des couples significatifs des 7 cases d'une seule lettre à 7 fois 3,540 ou à 24,780; mais chacun de ces couples significatifs est répété deux fois, car dans la case des $\dot{D}$ on trouve dans la première ligne $\dot{D}_1\dot{D}_2$ et dans la seconde $\dot{D}_2\dot{D}_1$, dans la première ligne $\dot{D}_1\dot{D}_3$ et dans la troisième $\dot{D}_3\dot{D}_1$.... Or $\dot{D}_1\dot{D}_2$ et $\dot{D}_2\dot{D}_1$ représentent un seul et même cercle, et ainsi des autres, d'où il résulte que, de chacune des 7 cases rectangulaires d'une seule lettre, on ne doit conserver que l'un des deux triangles auxquels elle se trouve réduite par la suppression des couples $\dot{D}_1\dot{D}_1$, $\dot{D}_2\dot{D}_2$,..., $\dot{I}_1\dot{I}_1$,..., placés sur la diagonale.

« Quant aux 42 cases du tableau qui contiennent des combinaisons de deux lettres, il n'y a pas de couples répétés dans l'intérieur d'une même case; mais chacune de ces 42 cases est en masse la répétition d'une autre; ainsi la case où je lis $\dot{D}_1\dot{I}_1$, $\dot{D}_1\dot{I}_2$,..., est la répétition, sauf le changement de l'ordre des lettres, de la case où je lis $\dot{I}_1\dot{D}_1$, $\dot{I}_2\dot{D}_1$,.... On voit par là que pour ne conserver que les combinaisons représentant des cercles réellement différents, il faut ne

conserver que la moitié, c'est-à-dire 21 des 42 cases de deux lettres.

« Le tableau se trouve ainsi réduit à 28 cases, dont 7 sont triangulaires et 21 rectangulaires, et, dans son ensemble, il n'a plus la forme d'un échiquier rectangulaire, mais celle d'un triangle. Il représente 28 espèces de cercles simples qui se répartissent ainsi : 21 espèces de cercles désignés par la réunion de deux lettres différentes, savoir :

3600	cercles	$\dot{D}\dot{I}$
3600	»	$\dot{D}\dot{H}$
3600	»	$\dot{D}\dot{T}$
. . .	. . .	. . .
3600	»	*bc*

en tout 21.3600 = 75,600 cercles simples de deux lettres ; et 7 espèces de cercles désignés par la même lettre répétée, savoir :

1770	cercles	$\dot{D}\dot{D}$
1770	»	$\dot{I}\dot{I}$
1770	»	$\dot{H}\dot{H}$
1770	»	$\dot{T}\dot{T}$
1770	»	$\dot{a}\dot{a}$
1770	»	$\dot{b}\dot{b}$
1770	»	*cc*
12390		

en tout 12,390 cercles d'une seule lettre.

« Les deux classes donnent un total de 75,600 + 12,390 = 87,990. C'est le nombre que nous avait donné plus simplement la formule $\frac{420.419}{2} = 87,990$; mais la formation du tableau a eu l'avantage de classer tous les cercles et de donner une désignation précise, et en quelque sorte un nom pour chacun d'eux.

« Maintenant, si l'on conçoit que les 60 points $\dot{D}$ se réunissent et se confondent dix par dix pour former les 6 points D, que les 60 points $\dot{I}$ se réunissent et se confondent six par six pour former les 10 points I, etc., le premier système de cercles que nous avons considéré deviendra le réseau pentagonal, et les cercles qui le composent se superposeront généralement en nombre plus ou moins grand pour former les cercles du réseau. Il suffira de compter par la pensée le nombre des cercles qui se superposent, dans la formation de chaque cercle du réseau, pour avoir le poids de ce cercle.

« Mais lorsque 10 points $\dot{D}$, par exemple, se réunissent pour recomposer un point D, certains cercles inscrits dans le tableau et comptés dans la somme précédente deviennent indéterminés et disparaissent. Ainsi les 10 points $\dot{D}_1$, $\dot{D}_2$, $\dot{D}_3$,..., $\dot{D}_{10}$, lorsqu'ils étaient distincts, donnaient naissance aux cercles $\dot{D}_1\dot{D}_2$, $\dot{D}_1\dot{D}_3$,..., dont le nombre est égal à $\frac{10.9}{2} = 45$. Ces 45 cercles deviendront indéterminés et disparaîtront lorsque les 10 points qui les déterminent se confondront en un seul. A chacun des 6 points D correspondra donc la disparition de 45 cercles ; soient 270 cercles $\dot{D}\dot{D}$ qui disparaîtront, et les 1,770 cercles $\dot{D}\dot{D}$ ne donneront au réseau pentagonal que 1,500 cercles simples DD.

« De même, après l'unification des points, il ne reste plus que 1,620 cercles $\dot{I}\dot{I}$, 1,680 cercles $\dot{H}\dot{H}$, 1,740 cercles $\dot{T}\dot{T}$, 1,740 cercles $\dot{a}\dot{a}$, 1,740 cercles $\dot{b}\dot{b}$. En tout 600 cercles disparaissent, ce qui réduit le nombre total des cercles d'une seule lettre à 11,790, et le nombre total des cercles simples qui subsistent après l'unification des points principaux à 87,590.

« Après l'unification des points, ces cercles se confondent plusieurs ensemble pour former des cercles composés au premier degré, dont le nombre est beaucoup moindre que celui des cercles simples. Ainsi, lorsque les

10 points $\dot{D}_1$, $\dot{D}_2$, ..., $\dot{D}_{10}$ se sont confondus en un seul point D, et que les 10 points $\dot{D}_{11}$, $\dot{D}_{12}$, $\dot{D}_{20}$, se sont confondus de même pour former un second point D, tous les cercles $\dot{D}_1\dot{D}_{11}$, $\dot{D}_1\dot{D}_{12}$, $\dot{D}_{10}$, $\dot{D}_{20}$, au nombre de 100, se trouvent confondus en un seul cercle DD qui se compose de 100 cercles simples, et dont le poids est égal à 100. Les 1.500 cercles $\dot{D}\dot{D}$ se réduisent ainsi à 15 cercles DD dont chacun pèse 100.

« De même, les 1,620 cercles $\dot{I}\dot{I}$ se superposent par groupes de 36 pour former 45 cercles II dont le poids est 36.

« Les 1,680 cercles $\dot{H}\dot{H}$ se superposent par groupes de 16 pour former 105 cercles HH dont le poids est 16.

« Les 1,740 cercles $\dot{T}\dot{T}$ se superposent par groupes de 4 pour former 435 cercles TT dont le poids est 4.

« Les 1,740 cercles $\dot{a}\dot{a}$ se réduisent à 435 cercles *aa* dont le poids est 4.

« Les 1,740 cercles $\dot{b}\dot{b}$ se réduisent à 435 cercles *bb* dont le poids est 4.

« Les 1,770 cercles *cc* restent au nombre de 1,770 dont le poids est 1.

« Les cercles désignés par deux lettres n'éprouvent aucune réduction dans leur nombre lors de l'unification des points, mais ils se groupent aussi pour former des cercles composés au premier degré, moins nombreux que les cercles simples.

« La case des $\dot{D}\dot{I}$ se décompose en plusieurs groupes de couples qui deviennent identiques au moment de l'unification des points principaux. Ainsi tous les couples $\dot{D}_1\dot{I}_1$, $\dot{D}_1\dot{I}_2$,...., $\dot{D}_1\dot{I}_6$ deviennent identiques lorsque $\dot{I}_1$, $\dot{I}_2$, $\dot{I}_3$,..., $\dot{I}_6$ se confondent pour former un point I. Il en sera de même dans la seconde ligne de $\dot{D}_2\dot{I}_1$, $\dot{D}_2\dot{I}_2$,..., $\dot{D}_2\dot{I}_6$, puis dans la troisième de $\dot{D}_3\dot{I}_1$, $\dot{D}_3\dot{I}_2$,..., $\dot{D}_3\dot{I}_6$, et ainsi de suite jusqu'à $\dot{D}_{10}\dot{I}_1$, $\dot{D}_{10}\dot{I}_2$,..., $\dot{D}_{10}\dot{I}_6$. Tous ces couples, au nombre de 60, se réduisent, lors de l'unification, à DI, et on aura, par leur réunion, un cercle unique DI qui, étant formé par 60 cercles simples, aura un poids exprimé par 60.

« On trouvera également que les cercles $\dot{D}_1\dot{I}_7$, $\dot{D}_1\dot{I}_8$,..., $\dot{D}_{10}\dot{I}_{12}$ se réduiront à DI et formeront un nouveau cercle DI ayant un poids égal à 60, de sorte que la case des DI donnera naissance, au moment de l'unification des points principaux, à 60 cercles DI ayant chacun un poids égal à 60.

« De même la case des $\dot{D}\dot{H}$ donnera naissance à 90 cercles DH ayant un poids égal à 40;

« La case des $\dot{D}\dot{T}$ donnera 180 cercles DT ayant un poids égal à 20;

« La case des $\dot{D}\dot{a}$ et la case des $\dot{D}\dot{b}$ donneront 180 cercles D*a* et 180 cercles D*b* ayant de même des poids égaux à 20;

« Enfin, la case des $\dot{D}c$ donnera 360 cercles D*c* ayant un poids égal à 10.

« Sans qu'il soit nécessaire de pousser cette analyse plus loin, on comprendra qu'après l'unification des points principaux le tableau général en lettres pointées et numérotées se résumera dans le tableau numérique suivant :

	CERCLES SIMPLES conservés après l'unification des points principaux.			CERCLES COMPOSÉS au premier degré.		POIDS des cercles composés au premier degré.
	1,500 $\dot{D}\dot{D}$			15 DD		100
	1,600 $\dot{I}\dot{I}$			45 H		36
	1,680 $\dot{H}\dot{H}$			105 HH		16
11,790	1,740 $\dot{T}\dot{T}$			435 TT	3,240	4
	1,740 $\dot{a}\dot{a}$			435 *aa*		4
	1,740 $\dot{b}\dot{b}$	5,250	2,640	435 *bb*		4
	1,770 $\dot{c}\dot{c}$			1,770 *cc*		1
	3,600 $\dot{D}\dot{I}$			60 DI		60
	3,600 $\dot{D}\dot{H}$			90 DH		40
	3,600 $\dot{D}\dot{T}$			180 DT		20
	3,600 $\dot{D}\dot{a}$			180 D*a*		20
	3,600 $\dot{D}\dot{b}$			180 D*b*		20
	3,600 $\dot{D}c$			360 D*c*		10
	3,600 $\dot{I}\dot{H}$			150 IH		24
	3,600 $\dot{I}\dot{T}$			300 IT		12
	3,600 $\dot{I}\dot{a}$			300 I*a*		12
	3,600 $\dot{I}\dot{b}$			300 I*b*		12
75,600	3,600 $\dot{I}c$			600 I*c*	13,050	6
	3,600 $\dot{H}\dot{T}$			450 HT		8
	3,600 $\dot{H}\dot{a}$			450 H*a*		8
	3,600 $\dot{H}\dot{b}$			450 H*b*		8
	3,600 $\dot{H}c$			900 H*c*		4
	3,600 $\dot{T}\dot{a}$			900 T*a*		4
	3,600 $\dot{T}\dot{b}$			900 T*b*		4
	3,600 $\dot{T}c$			1,800 T*c*		2
	3,600 $\dot{a}\dot{b}$			900 *ab*		4
	3,600 $\dot{a}c$	10,800	4,500	1,800 *ac*		2
	3,600 $\dot{b}c$			1,800 *bc*		2
	87,390	16,050	7,140	16,290		
	87,390			16,290		
	16,050			7,140		
	71,340			9,150		

« On voit dans ce tableau comment les 87,390 cercles compris dans le tableau en lettres pointées se réduisent, par l'unification des points principaux, à 16,290 cercles composés au premier degré ayant des poids variables de 1 à 100.

« Parmi ces derniers cercles se trouvent les cercles *aa*, *bb*, *cc*, *ab*, *ac*, *bc*, que je n'ai pas encore été conduit à introduire parmi les cercles auxiliaires du réseau pentagonal; ils sont au nombre de 7,140 et ils ont un poids total égal à 16,050. Si on les laisse provisoirement de côté, comme je l'ai fait jusqu'à présent, le nombre des cercles composés au premier degré se réduit à 9,150, et leur poids total à 71,340, c'est-à-dire à celui de 71,340 cercles simples.

« Ces 9,150 cercles ne sont pas encore, à proprement parler, du moins pour la plupart, des cercles du réseau pentagonal, mais ils sont sujets à se superposer entre eux pour former les cercles du réseau dont ils sont les éléments composés au premier degré. Le tableau qui les comprend tous avec leurs poids respectifs rend très-facile de supputer les cercles qui se superposent pour former un cercle du réseau et le poids total qui en résulte.

« Ainsi un grand cercle primitif contient, dans une demi-circonférence, 2 points D, 2 points I, 2 points H, 2 points T, 2 points *a*, 2 points *b*, et il se compose comme l'indique le tableau suivant :

			POIDS.
1	cercle	DD.	» 100
1	»	IL	» 36
1	»	HH.	» 16
1	»	TT.	» 4
4	cercles	DI.	4.60 = 240
4	»	DH.	4.40 = 160
4	»	DT.	4.20 = 80
4	»	D*a*.	4.20 = 80
4	»	D*b*.	4.20 = 80
4	»	IH.	4.24 = 96
4	»	IT.	4.12 = 48
4	»	I*a*.	4.12 = 48
4	»	I*b*.	4.12 = 48
4	»	HT.	4. 8 = 32
4	»	H*a*.	4. 8 = 32
4	»	H*b*.	4. 8 = 32
4	»	T*a*.	4. 4 = 16
4	»	T*b*.	4. 4 = 16
60			1164

« On voit donc qu'un grand cercle primitif se compose de 60 cercles composés au premier degré et de 1,164 cercles simples. Son poids est égal à 1,164.

« Un octaédrique contient dans une demi-circonférence 3 points H, 6 points T, 3 points *a* et 6 points *c*. Il se compose comme l'indique le tableau suivant :

			POIDS.
3	cercles	HH.	3.16 = 48
18	»	HT.	18. 8 = 144
9	»	H*a*.	9. 8 = 72
18	»	H*c*.	18. 4 = 72
15	»	TT.	15. 4 = 60
18	»	T*a*.	18. 4 = 72
36	»	T*c*.	36. 2 = 72
117			540

« Ainsi un octaédrique se forme par la superposition de

117 cercles composés au premier degré ou de 540 cercles simples. Son poids est égal à 540.

« Un dodécaédrique régulier contient dans une demi-circonférence 5 points H et 5 points *b*. Il se compose comme l'indique le tableau suivant :

		POIDS.
10 cercles	HH	10.16 = 160
25 »	H*b*	25. 8 = 200
35		360

« Ainsi un dodécaédrique régulier se forme par la superposition des 35 cercles composés au premier degré ou de 360 cercles simples. Son poids est égal à 360.

« Enfin, un dodécaédrique rhomboïdal contient, dans une demi-circonférence, 2 points I, 1 point H, 1 point T et 2 points *c*. Il se compose comme l'indique le tableau suivant :

		POIDS.
1 cercle	II	» 36
2 cercles	IH	2.24 = 48
2 »	IT	2.12 = 24
4 »	I*c*	4. 6 = 24
1 cercle	HT	» = 8
2 cercles	H*c*	2. 4 = 4
2 »	T*c*	2. 2 = 4
14		152

« Ainsi un dodécaédrique rhomboïdal se forme par la superposition de 14 cercles composés au premier degré, ou de 152 cercles simples. Son poids est égal à 152.

« On voit en somme que les 61 grands cercles principaux absorbent 2,700 cercles composés au premier degré et 29,580 cercles simples, savoir :

CERCLES COMPOSÉS au premier degré.		CERCLES SIMPLES.
15 DD.	. . . .	15.100 = 1,500
45 II.	. . . .	45.36 = 1,620
105 HH.	. . . .	105.16 = 1,680
165 TT.	. . . .	165. 4 = 660
60 DI.	. . . .	60.60 = 3,600
60 DH.	. . . .	60.40 = 2,400
60 DT.	. . . .	60.20 = 1,200
60 D*a*.	. . . .	60.20 = 1,200
60 D*b*.	. . . .	60.20 = 1,200
120 IH.	. . . .	120.24 = 2,880
120 IT.	. . . .	120.12 = 1,440
60 I*a*.	. . . .	60.12 = 720
60 I*b*.	. . . .	60.12 = 720
120 I*c*.	. . . .	120. 6 = 720
270 HT.	. . . .	270. 8 = 2,160
150 H*a*.	. . . .	150. 8 = 1,200
210 H*b*.	. . . .	210. 8 = 1,680
240 H*c*.	. . . .	240. 4 = 960
240 T*a*.	. . . .	240. 4 = 960
60 T*b*.	. . . .	60. 4 = 240
420 T*c*.	. . . .	420. 2 = 840
2,700		29,580

« Les grands cercles principaux absorbent donc près du tiers des cercles composés au premier degré et plus des $\frac{2}{5}$ des cercles simples qui entrent dans la composition du réseau pentagonal réduit aux cercles qui passent par les points principaux les plus importants désignés par des lettres majuscules. Ces cercles appartiennent à 21 espèces différentes, c'est-à-dire à toutes les espèces de cercles que j'ai employées, à l'exception des cercles D*c* seulement.

« De ces 21 espèces, 4 sont absorbées en entier par les cercles principaux du réseau : ce sont les cercles DD, II, HH et DI; et la première, les cercles DD, est comprise entièrement dans les 15 cercles primitifs. Quant aux 17 autres espèces, elles ne sont comprises qu'en partie dans les cercles principaux, et l'espèce D*c* n'y entre pas du tout. Il reste donc pour composer les cercles auxiliaires 18 espèces

de cercles composés au premier degré, formant un nombre total de 6,450 et 41,760 cercles simples; répartis les uns et les autres comme l'indique le tableau suivant :

CERCLES COMPOSÉS au premier degré.		CERCLES SIMPLES.
270 = 9.30	TT.	270. 4 = 1,080
30 = 1.30	DH.	30.40 = 1,200
120 = 4.30	DT.	120.20 = 2,400
120 = 4.30	Da	120.20 = 2,400
120 = 4.30	Db.	120.20 = 2,400
360 = 12.30	Dc.	360.10 = 3,600
30 = 1.30	IH.	30.24 = 720
180 = 6.30	IT.	180.12 = 2,160
240 = 8.30	Ia.	240.12 = 2,880
240 = 8.30	Ib.	240.12 = 2,880
480 = 16.30	Ic.	480. 6 = 2,880
180 = 6.30	HT.	180. 8 = 1,440
300 = 10.30	Ha.	300. 8 = 2,400
240 = 8.30	Hb.	240. 8 = 1,920
660 = 22.30	Hc.	660. 4 = 2,640
660 = 22.30	Ta.	660. 4 = 2,640
840 = 28.30	Tb.	840. 4 = 3,360
1,320 = 46.30	Tc.	1.380. 2 = 2,760
6,450		41,760

« C'est en puisant dans cette masse que nous trouverons les éléments des cercles auxiliaires inscrits dans le tableau général des points d'intersection.

« On peut remarquer que le nombre des cercles composés au premier degré qui se trouvent ainsi tenus en réserve est constamment un multiple de 30, et le plus souvent même un multiple de 60. Ils doivent en effet servir à composer des séries de cercles homologues entre eux, qui sont au nombre de 30 ou de 60 dans chaque série, suivant que leurs pôles sont placés sur les grands cercles primitifs ou en dehors de ces derniers..... et qui souvent, résultant de la superposition de plusieurs cercles composés au premier degré, peuvent être considérés comme des cercles composés au second degré. »

LE PANDYNAMOMÈTRE.

APPAREIL PROPRE A DÉTERMINER LE TRAVAIL MÉCANIQUE PRODUIT PAR UN MOTEUR OU CONSOMMÉ PAR UNE MACHINE.

Par M. G. A. HIRN, au Logelbach, près Colmar.

La mécanique expérimentale dispose de deux espèces d'appareils précis pour mesurer le travail que donne un moteur ou que coûte une machine : ce sont le frein de Prony et les divers instruments connus sous le nom de dynamomètres de rotation à ressorts ou à poids.

Le frein de Prony peut être, à juste titre, regardé comme une des plus belles et des plus utiles inventions de notre époque. Il constitue une véritable balance dynamique à l'aide de laquelle on peut déterminer, avec une remarquable précision, le travail des plus puissants moteurs.

D'un autre côté, il est possible aujourd'hui de construire des dynamomètres qui, interposés entre un moteur et la machine qu'il commande, permettent de déterminer avec une précision plus que suffisante le travail qui passe du premier à la seconde.

Il semble donc qu'en ce sens tous les besoins de la mécanique appliquée soient remplis, et qu'il n'y ait plus rien à chercher utilement. Il va cependant m'être facile de montrer que, si j'ai cherché un appareil tout différent de ceux qu'on a employés jusqu'ici pour déterminer le travail mécanique, je n'étais mû ni par le vain désir d'innover ni par celui de critiquer injustement ce qui existe.

En tout premier lieu, les dynamomètres dont on s'est servi jusqu'ici pour mesurer le travail transmis par un moteur à une usine, deviennent extrêmement dispendieux à

construire, dès qu'il s'agit de forces considérables. Ils ne peuvent pas se poser et puis s'enlever, sans occasionner des modifications considérables, et dispendieuses aussi, dans l'état de la transmission qui va du moteur à l'usine.

Lorsqu'il s'agit, par exemple, de grandes industries consommant des centaines de chevaux-vapeur de travail, les dynamomètres des systèmes les plus simples connus deviennent en réalité des machines puissantes et coûteuses, dont très-peu d'industriels se soucient de faire les frais.

D'un autre côté, il est facile de reconnaître que le frein de Prony ne peut pas toujours servir à atteindre commodément et facilement le but qu'on se propose.

Remarquons tout d'abord que l'opération à l'aide du frein est au fond une pesée par substitution. Veut-on, en effet, connaître la force *moyenne* consommée par une usine ou fournie par un moteur? On substitue le frein à l'usine, et l'on cherche à mettre le moteur aussi exactement que possible dans les conditions où il se trouve pendant le travail industriel. Ceci est facile quand le travail consommé est à fort peu près constant; mais c'est là ce qui arrive fort rarement. On est donc obligé, pour parvenir à une approximation satisfaisante, d'observer durant un certain nombre de jours l'état du moteur pendant le travail de l'usine : la pression, la détente, s'il s'agit d'une machine à vapeur ; la chute et le volume d'eau consommée, s'il s'agit d'un moteur hydraulique. Et puis, par l'essai du frein, on place le moteur dans l'état moyen où il s'est trouvé pendant la série de jours d'observation. Il est facile de voir que c'est là un genre d'opérations qui exige beaucoup d'attention, et qui, en somme, n'est pas susceptible d'une précision absolue.

D'un autre côté, si c'est le moteur lui-même qu'on veut juger au point de vue de son rendement, le frein, en thèse générale, ne peut servir immédiatement que dans des cas assez limités; et dans le plus grand nombre de cas, on n'est

encore forcé de s'en servir que par substitution. En effet, quand il s'agit d'évaluer des forces très-considérables, la chaleur développée par le frottement et l'usure des mâchoires du frein, posent une limite assez étroite à la durée de l'expérience.

Pour les moteurs hydrauliques, on peut en très-peu de temps évaluer le volume d'eau qu'ils consomment, et cette évaluation peut se faire facilement pendant l'expérience au frein : celle-ci donne alors immédiatement le rendement. Il ne saurait en être ainsi quand on veut évaluer la quantité de combustible que coûte un moteur à vapeur pour un travail donné : il faut alors opérer, non pendant quelques heures, mais pendant des journées entières, si l'on veut arriver à une exactitude un peu tolérable ; et l'expérience au frein ne peut plus se faire en même temps que la pesée du combustible.

On est donc obligé encore d'opérer par substitution. Tandis que le moteur commande l'usine, on le tient pendant quelques jours à un régime constant de pression, de détente, etc., de manière à lui faire produire un travail rigoureusement constant, et puis quand on s'est assuré de la consommation de combustible en un temps donné, on substitue le frein à l'usine, en maintenant le moteur dans les conditions où il se trouvait pendant toute la période de pesée. C'est par ce procédé que j'ai pu exécuter toutes mes expériences sur des machines à vapeur de 100 et 200 chevaux, à l'aide desquelles j'ai constaté la quantité de calorique que coûte le travail. Chacun comprendra qu'il n'est possible de procéder ainsi que quand une usine est commandée par deux moteurs : l'un étant tenu à un régime stable et produisant un travail constant, l'autre sert à produire seulement l'excédant de travail variable d'un instant à l'autre que consomme l'usine. Je me permets de dire que toute expérience de cette nature faite autrement ne peut donner de résultats corrects ; que par exemple, toutes

les expériences pendant lesquelles on prétend déterminer à la fois le travail d'un moteur à vapeur et la quantité de houille qu'il consomme sont nécessairement fausses : elles flattent toujours le moteur et donnent souvent des résultats de 50 p. 100 supérieurs à la réalité des choses. Trop de fois l'opinion publique a été trompée par cette manière vicieuse d'opérer de quelques ingénieurs et constructeurs. Mais on comprend aussi qu'il n'est que rarement possible de trouver des usines pourvues de plusieurs moteurs liés les uns aux autres de telle façon qu'on puisse faire marcher tel ou tel d'entre eux pendant une semaine entière à un même régime, comme j'ai pu le faire, par exemple, dans mes expériences concernant la théorie mécanique de la chaleur.

J'ajoute maintenant que quand il s'agit d'essayer au frein des machines à vapeur de très-grande puissance, l'expérience est fort souvent, sinon toujours, accompagnée de dangers réels, et la moindre inadvertance peut donner lieu à des accidents terribles. Je citerai comme exemple un des cas où l'on court la chance presque certaine de briser l'une ou l'autre des pièces d'un moteur puissant, lorsqu'on veut en relever le travail à l'aide du frein. Ce cas se présente lorsqu'on est obligé d'installer le frein à une grande distance de ce moteur, au bout d'un long arbre de transmission commandé par des engrenages intermédiaires. Par suite de l'élasticité des pièces qui amènent à la poulie du frein le travail du moteur, il devient à peu près inévitable que cette poulie tourne par *saccades* plus ou moins éloignées les unes des autres; le frein dès lors *broute*, et dès ce moment les dents des engrenages qui commandent l'arbre, au lieu d'appuyer régulièrement les unes sur les autres, se séparent et se heurtent alternativement en produisant des chocs tels. qu'elles se brisent inévitablement si l'on continue l'expérience.

Trouver un dynanomètre qui, sans trop de frais et sans

aucun dérangement dans les pièces d'un moteur ou d'une usine, puisse servir à enregistrer exactement le travail pendant des journées entières, tel est le but que je me suis proposé, et dont chacun, d'après ce qui précède, comprendra l'utilité. Tel est aussi le but que j'ai atteint d'une façon très-simple. Voici le principe sur lequel repose le pandynamomètre.

Tous les matériaux dont sont construits nos moteurs et nos machines sont des corps plus ou moins *flexibles* et *élastiques*. Toutes les pièces qui servent à transmettre un effort moteur changent de forme temporairement, et d'autant plus que l'effort est plus grand, pour reprendre leur forme, quand le travail cesse. Nos arbres de transmission (fonte, fer forgé, acier, etc.), si gros qu'ils soient, se tordent pendant qu'ils transmettent à une usine le travail du moteur, et reviennent à leur état primitif quand l'effort cesse.

Supposons que, pendant un temps déterminé, nous sachions, par un procédé exact, mesurer la torsion d'un tel arbre, et puis qu'au repos nous mesurions l'effort qu'il faudra exercer dans le sens de la rotation pour obtenir la même torsion. Il est évident qu'en multipliant cet effort par la vitesse qu'aurait le point d'application pendant le travail, nous aurons précisément la valeur numérique de celui-ci.

Pl. VII (*fig.* 1). Soit AB une partie de l'arbre qui transmet dans une usine quelconque le travail fourni par le moteur.

Sur cet arbre, et aussi loin que possible l'une de l'autre, supposons calées deux poulies égales, à circonférences cylindriques. A l'état de repos, traçons sur ces poulies deux traits *ab*, *cd*, situés sur une même droite parallèle à l'axe de l'arbre. Dès que le travail commencera, l'arbre se tordra, si fort qu'il soit. Le trait *ab* de la poulie la plus proche du moteur avancera par rapport au trait *cd*, et si on le prolonge par la pensée jusque sur la poulie de l'extrémité B,

l'intervalle $a'c$ ou $b'd$ indiquera la valeur de la torsion de l'arbre. En désignant par R le rayon des poulies, la valeur

$$\alpha = 360^\circ \frac{a'c}{2\pi R}$$

sera l'angle de torsion en degrés sexagésimaux.

Supposons que pendant une semaine entière, on ait relevé de minute en minute, par un procédé convenable, la valeur de l'angle α. La somme de toutes ces valeurs divisée par le nombre de notations donnera une moyenne tout à fait correcte de la torsion.

Le moteur étant au repos, et l'arbre étant débrayé et rendu libre, fixons à ses deux bouts et au delà des poulies deux leviers LM et L'M', munis à leurs extrémités de plateaux de balance, et changeons les plateaux P et P' jusqu'à ce que le trait ab prolongé sur la poulie de l'extrémité B donne précisément l'angle moyen trouvé pour toute la semaine.

Soit L la longueur de l'un ou l'autre des leviers; P le poids dont il a fallu charger le plateau pour obtenir l'angle α; p le poids mesuré en p' que représentent le levier et le plateau eux-mêmes; N le nombre total de tours exécutés pendant la semaine de travail; T la durée du travail en secondes.

Il est évident que le travail moyen en kilogrammètres, fourni par le moteur, et consommé par l'usine, aura pour valeur

$$F = \frac{(P + p)\, 2\pi LN}{T};$$

car le poids $(P + p)$ nécessaire pour obtenir l'angle moyen α représente l'effort moyen, et transporté à l'extrémité p' qu'a exercé le moteur pendant toute la durée du travail.

On voit clairement, d'après cela, quel est le principe sur lequel repose le pandynamomètre. Les ressorts, les poids des dynamomètres ordinaires y sont remplacés par l'une des

pièces mêmes du mécanisme dont on veut évaluer le travail, et c'est la flexion de cette pièce qui sert à cette évaluation. Cet appareil permet donc de mesurer en quelque sorte *au passage* le travail qu'un moteur envoie par un arbre de transmission à une machine, à un ensemble de machines, à une usine entière. Il permet de substituer une expérience de statique des plus faciles à une expérience de dynamique, quelquefois insuffisante, toujours des plus délicates et souvent dangereuse.

L'expérience se partage, en effet, en deux parties. La première a pour objet la détermination de l'angle de torsion répondant à un travail donné; elle se fait, comme je vais montrer, à l'aide d'un appareil spécial qui ne donne lieu à aucun démontage, à aucun dérangement quelconque dans les pièces d'une usine. La seconde a pour objet la mesure de l'effort nécessaire pour produire l'angle de torsion observé : elle se fait à *l'état de repos*, non sur le moteur, non sur la machine qui consomme du travail, mais sur l'arbre qui transmet ce travail.

J'ai construit deux appareils distincts propres à mesurer ainsi la torsion d'un arbre de transmission pendant son mouvement; je vais les décrire en détail tous deux.

PANDYNAMOMÈTRE DIFFÉRENTIEL.

Pl. VIII. Soit toujours AB (*fig.* 1 à 3) l'un des arbres de transmission qui mènent le travail d'un moteur à une machine ou à une usine. Plus l'arbre AB est long, mieux cela vaut, puisque l'amplitude de la torsion est, toutes choses égales, proportionnelle à la longueur. Il faut toutefois que cet arbre soit d'une pièce, afin qu'il ne puisse s'y opérer aucun dérangement pendant le cours des expériences.

Aux deux extrémités de l'arbre AB, on adapte deux roues d'engrenage r_0, r_1, à denture fine et divisées aussi axactement que possible. Ces deux roues sont formées chacune

de deux moitiés que l'on réunit sur place à l'aide de boulons, afin de n'avoir à démonter aucune des pièces de la transmission de l'usine.

Ces deux roues en commandent deux autres r'_0 et r'_1, ayant le même nombre de dents qu'elles; r_0 commande *directement* r'_0; r_1, au contraire, commande r'_1 par la roue dentée intermédiaire i, de sorte que quand AB tourne, r'_1 tourne en sens inverse de r'_0.

Les roues r'_0 et r'_1 sont calées aux extrémités de deux arbres ab, $a'b'$, d'un faible diamètre (2 à 3 centimètres au plus, quel que soit le diamètre de AB et quelle que soit la force qu'il transmet).

Les deux arbres ab, $a'b'$ sont placés sur un même prolongement, et sont portés chacun par les deux coussinets y_0, y'_0 et y_1, y'_1. J'indiquerai plus loin le but des deux leviers E_0, E'_0, E_1, E'_1, qui portent les coussinets y_c, y_1. Aux extrémités opposées l'une à l'autre des deux arbres ab, $a'b'$ sont calées deux roues d'angle dentées égales C, C', qui engrènent sur une troisième roue dentée D intermédiaire, ou *roue différentielle.* Cette roue D est folle sur un levier ll'. Entre les deux roues C, C', le levier ll' porte une croix dont les extrémités z, z sont munies de pointes qui pénètrent légèrement dans la partie centrale des roues, de telle sorte que le levier ll', si l'on enlevait la roue D, pourrait tourner dans un plan perpendiculaire à l'axe des deux arbres ab, $a'b'$.

Il résulte visiblement de cette disposition que si l'arbre AB, *qu'il soit en repos ou en mouvement*, éprouve une torsion quelconque dont la valeur angulaire soit α, le levier ll' changera de position et fera avec sa direction initiale un angle dont la valeur sera $\frac{1}{27}\alpha$. L'appareil, tel qu'il vient d'être décrit peut donc servir à mesurer la torsion de l'arbre AB à l'*état de repos* ou à l'*état continu de rotation.*

En thèse générale, cet angle de orsion est relativement

petit; pour l'apprécier exactement, il convient donc de l'*amplifier*, et cette amplification est des plus faciles en principe. La coupe (*fig.* 2) donne une idée très-claire de la manière dont elle s'opère.

L'extrémité *l'* du levier *ll'* est liée en *m'* à un second levier *mm'm''*. Ce levier porte à son extrémité un secteur *ss* qui commande un petit pignon calé sur l'axe du tambour TT, que j'appellerai *tambour enregistreur*. Si nous désignons par d_0 la distance de la roue D à l'axe géométrique des deux roues C, C', et par d_1 la distance de ce centre à l'extrémité *l'*, si nous désignons de même par m_0 la longueur du petit bras de levier de *mm'm''*, par m_1 la longueur du grand bras de levier, par *r* le rayon du pignon, par R le rayon du tambour enregistreur, il est visible qu'on aura

$$\alpha \cdot \frac{d_1}{d_0} \cdot \frac{m_1}{m_0} \cdot \frac{R}{r}$$

pour la valeur de l'amplification de l'angle α sur le tambour TT. Nous allons voir bientôt qu'il est tout à fait inutile de mesurer la valeur absolue de cette amplification.

Le tambour TT est recouvert d'un papier, sur la surface duquel un crayon vient à des intervalles égaux frapper des points. La disposition suivante conduit très-simplement à ce résultat. Le crayon est fixé à l'extrémité *p'* du petit levier *pp'*, aminci vers l'extrémité de manière à faire ressort; ce levier est conduit parallèlement à lui-même d'un bout du tambour à l'autre par la vis *vv*, mise en mouvement par l'axe *xx* commandé à l'aide d'un engrenage et d'une vis sans fin par l'axe *ab*. L'arbre *xx* fait en même temps tourner un petit cylindre muni à sa périphérie d'une came longitudinale qui, à chaque tour, vient abaisser l'extrémité du levier *pp'* et la laisse échapper, de telle sorte que le crayon frappe un coup sur le tambour.

Telle est la description sommaire du pandynamomètre

différentiel; mais plusieurs précautions sont absolument indispensables pour que l'appareil inscrive sur le tambour TT l'angle *réel* et *amplifié* α.

1° Il faut que les dents des diverses roues r_0, r'_0, r_1, r'_1, C, C', D, soient continuellement en contact les unes avec les autres et n'éprouvent aucun battement par suite de la rotation du grand arbre AB. Pour cela, l'extrémité postérieure du levier ll' est munie d'un fort contre-poids P qui force les dents des engrenages à appuyer les unes sur les autres.

2° Quelque bien divisées que puissent être nos diverses roues dentées, il est absolument impossible que l'extrémité l' du levier ll' n'éprouve pas de vibrations, quand AB est en mouvement. Afin d'empêcher ces vibrations d'aller se communiquer au tambour TT lui-même, on relie l'extrémité l' avec le levier mm'', non par un *fil rigide*, mais par un ressort en hélice. Par suite de cette disposition très-simple, le tambour TT ne traduit plus que les déplacements *moyens* et *stables* de l'extrémité l'.

3° Avec quelque soin que soit construite une transmission de mouvement, les arbres éprouvent toujours des ballottements plus ou moins considérables dans leurs coussinets; et, d'après la description que je viens de faire de notre appareil, il est évident que si l'on n'y portait remède, ses ballottements iraient se traduire par des mouvements oscillatoires du tambour autour de son axe, et l'angle marqué par le crayon sur la circonférence serait *fautif*. Mais le remède est ici très-simple. Au lieu de fixer à des pièces en repos, et *indépendantes* de AB, les deux coussinets y_0, y_1 des axes $ab, a'b'$, on place ces coussinets sur les deux leviers E_0, E'_0, E_1, E'_1. Les extrémités E_0, E'_0 de ces leviers posent sur une roulette pouvant marcher elle-même sur un plan horizontal; les autres extrémités E_0, E_1 sont munies de douilles qui embrassent exactement des collets tournés sur les canons des deux roues r_0, r_1. Il résulte de cette disposition que si, pendant le mouvement,

l'une ou l'autre des extrémités de l'arbre AB a un jeu quelconque dans son coussinet, le ballottement qui en résulte pour la roue r_0 ou r_1 se transmet exactement par le levier $E_0E'_0$ ou $E_1E'_1$ à la roue r'_0 ou r'_1, et qu'ainsi l'erreur dont je parle ci-dessus est complétement annulée.

J'ai dit que pour déterminer le travail transmis par l'arbre AB il n'est nullement nécessaire de connaître la valeur de l'amplification que fait subir le pandynamomètre à l'angle de torsion de cet arbre. Rien n'est plus facile en effet, et cela sans recourir à aucune formule sur la torsion.

Désignons par X la distance moyenne de la suite des points frappés sur TT par le crayon de pp' pendant le travail, à la suite des points *en ligne droite* que frapperait le crayon si l'arbre AB tournait à vide, et par suite sans éprouver de torsion. Aux deux extrémités de l'arbre et *au delà des* roues r_0, r_1, on adapte les deux leviers dont j'ai parlé page 172 ; la transmission étant débrayée, on les charge graduellement, en les faisant légèrement osciller de haut en bas, jusqu'à ce que la pointe du crayon de pp', abaissée sur TT, se trouve à la distance X du zéro, c'est-à-dire de la suite de points tracés quand AB marche à vide. Il est évident que le poids mis sur un des plateaux des leviers, augmenté du poids de ce levier lui-même pris au point de suspension du plateau, répondra à l'effort moyen de travail rapporté à la longueur (LM) ou L. Le calcul de travail s'effectuera comme il est dit page 172, et l'on aura

$$F^{km} = \frac{2\pi LN(P+p)}{T}.$$

PANDYNAMOMÈTRE ÉLECTRIQUE.

Je passe à la description du second appareil, propre à mesurer la torsion d'un arbre pendant le travail.

Pl. VII, *fig.* 1. Supposons que la circonférence des poulies

dont j'ai parlé (page 172) soit formée d'un corps non conducteur de l'électricité, et que les traits *ab* et *cd*, au contraire, soient des fils métalliques très-déliés, fixés solidement sur la périphérie parallèlement à l'axe. Faisons légèrement frotter sur les bords de chacune de nos poulies deux fils métalliques fixes m_0n_0, m_1n_1 et $m'_0n'_0$, $m'_1n'_1$ dont les extrémités soient placées de telle sorte qu'au repos elles puissent toucher à la fois *ab* et *cd*. Si les conducteurs m_0n_0, m_1n_1, $m'_0n'_0$, $m'_1n'_1$ sont liées aux pôles de deux piles, il est clair qu'à chaque révolution des poulies, il s'opérera par eux un courant électrique de très-peu de durée. Les courants par *ab* et *cd* seront *simultanés* pendant que l'arbre tournera à vide; ils seront *séparés par un certain intervalle* de temps, dès que l'arbre transmettra un travail. Concevons d'un autre côté un tambour métallique cylindrique, recouvert d'un papier préparé chimiquement, disposons les choses de telle sorte que les deux courants électriques soient forcés de traverser le papier en un même point très-délié pendant le repos. Il est évident que ce si ce tambour tourne avec la même vitesse que AB, au lieu *d'un* point marqué sur le papier, on en aura deux qui répondront précisément à l'écart angulaire de *ab* et de *cd*; si le tambour fait deux, trois, dix..... tours pendant que l'arbre en fait un, l'écart des deux points sera deux, trois, dix..... fois celui qui répond à l'écart angulaire de *ab* et de *cd*.

On peut donc amplifier comme on veut l'angle α en faisant croître la vitesse du tambour enregistreur. Mais j'ai imaginé un artifice mécanique très-simple qui mène au même but sans aucun des inconvénients qu'entraîne une vitesse trop grande donnée à TT.

Voici en quoi consiste cet artifice :

Supposons que les conducteurs m_0n_0, $m'_0n'_0$, m_1n_1, $m'_1n'_1$, qui frottent sur la circonférence des poulies, au lieu d'être *fixes*, *tournent eux-mêmes* avec ces poulies, mais un peu plus vite qu'elles; pour fixer les idées supposons qu'ils

fassent par exemple 51 tours autour de l'axe AB pendant que cet axe et les poulies en font 50, et que le tambour enregistreur fasse le même nombre de tours que AB'. Tan que l'arbre tournera à vide, les deux décharges électriques passant par *ab* et *cd* seront simultanées et auront lieu chaque fois que l'arbre aura fait 50 tours. Mais dès que le travail commencera, dès que l'arbre se tordra, le trait *ab*, par exemple, avancera par rapport à *cd*; le conducteur m_0n_0, m_1n_1 le rejoindra donc un peu plus tard que $m'_0n'_0$, $m'_1n'_1$, n'avait rejoint *cd*. Supposons que l'angle de torsion s'élève à $\frac{1}{500}$ de circonférence : il est facile de voir que l'arbre aura à faire $\frac{1}{10}$ de tour pour que les deux courants successifs puissent avoir lieu : l'angle tracé sur le tambour qui tourne avec la même vitesse que AB sera donc $\frac{360}{10} = 36$ degrés, valeur très-grande et très-facile à mesurer à l'aide de procédés même très-grossiers.

Tout cela étant compris, je passe à la description de l'appareil tel que je l'ai fait exécuter.

Pl. VII, *fig.* 2. A, B. Arbre de couche communiquant le mouvement d'un moteur à une usine.

C_0, C_1. Poulies en fonte, à gorges parfaitement cylindriques et polies, calées sur l'arbre AB. Ces poulies sont coulées en deux moitiés, qui sont ensuite ajustées l'une sur l'autre et réunies par des boulons : on peut donc les mettre en place sans démonter l'arbre AB.

Les gorges, d'environ $0^m,01$ de profondeur, ont $0^m,08$ de largeur.

Le diamètre des poulies, pris aux gorges, est de $0^m,25$. Il est d'ailleurs arbitraire et ne dépend que de celui de AB lui-même.

D_0, D_1. Roues dentées, en cuivre jaune, munies intérieurement d'un canon cylindrique et alésé au même diamètre que les poulies C_0, C_1.

Ces roues sont aussi en deux pièces réunies par des bou-

lons. Elles sont *folles* sur les poulies, et doivent pouvoir tourner à frottement très-doux, mais sans avoir de jeu. Leur diamètre externe est de $0^m,62$, le nombre de dents est de 300 : valeurs arbitraires d'ailleurs.

D_2. Roue en laiton comme les précédentes, calée sur le côté libre de la poulie C_1. Le nombre de dents de cette roue est de 306.

ab. Arbre en fer forgé de $0^m,05$ de diamètre, porté à ses extrémités et au milieu dans des coussinets en bronze.

E_0, E_1, E_2. Roues en cuivre jaune, calées sur l'arbre *ab*. Elles ont toutes les trois 300 dents, mais la roue E_2 est d'un diamètre un peu moindre et la roue D_2 d'un diamètre un peu plus grand que celui des quatre roues D_0, D_1, E_0, E_1, de manière à ce que la somme des rayons soit la même pour toutes les six.

TT. Tambour cylindrique en fonte de $0^m,5$ de diamètre et de $0^m,4$ de largeur. La périphérie de ce tambour est très-bien polie et elle est cuivrée galvaniquement.

Ce tambour est monté sur un arbre solide qui tourne dans les deux coussinets montés sur le cadre en fonte FFFF.

G. Roue en cuivre jaune, de 153 dents. Cette roue est folle sur l'extrémité de l'arbre du tambour, mais à l'aide d'un embrayage, elle peut être liée à cet arbre et entraîner par suite le tambour dans son mouvement.

vv'. Vis à filets fins, recevant son mouvement du tambour, mais tournant très-lentement, de sorte que l'écrou *y* n'avance que de $0^m,001$ pour 100 tours du tambour.

Cet écrou porte et entraîne un fil de cuivre isolé, lié par une de ses extrémités à deux fils, isolés aussi, partant des pôles positifs de deux piles de Daniell de cinq éléments chacune. L'autre extrémité du fil de cuivre est attachée à un ressort en acier, isolé et muni d'une pointe qui appuie obliquement et légèrement sur le tambour. L'axe du tambour, est relié à l'arbre AB par un fil de cuivre dont les extrémités sont munies de ressorts qui frottent légèrement

sur une partie cylindrique quelconque de ces deux axes.

Les poulies C_0, C_1 portent chacune un bras métallique H_0, H_1, et les roues D_0, D_1 portent de même des bras H_2, H_3 un peu plus courts que H_0 et H_1. Les extrémités de H_0 et de H_1 portent des équerres munies de petites languettes d'acier terminées en pointes dirigées vers H_2, H_3. Les extrémités de H_2 et H_3 portent deux petites pièces de bois, plates, vernies, au milieu desquelles sont incrustées deux lames de cuivre très-minces dirigées vers l'axe AB et présentant leurs tranchants aux pointes d'acier de H_0 et H_1. Ces dernières ont une longueur telle que quand les bras H_2 et H_3 passent devant H_0 et H_1, elles commencent par frotter très-légèrement sur les planchettes, puis viennent toucher un très-court instant les lames de cuivre incrustées, repassent sur le bois, et lâchent enfin celui-ci. Les lames de cuivre sont soudées à un fil de cuivre isolé dont l'autre xtrémité est soudée à une pièce métallique plate, fixée sur les canons de roues D_0, D_1, mais isolée de ces canons par des lames de bois vernis. A chaque tour des roues, ces pièces viennent en même temps toucher des ressorts d'acier fixes liés avec les pôles négatifs des deux piles.

Les bras des poulies et des roues dentées, les pointes d'acier des bras des poulies, etc., sont placés de telle sorte que quand AB est au repos et que D_2 est décalée, le mouvement de *ab* amène en même temps les pointes de H_0, H_1 au contact des lames incrustées de H_2 et H_3.

Les fonctions de cet appareil sont des plus simples à comprendre.

Supposons que l'arbre tourne à vide dans le sens de la flèche, et que le moteur se trouve du côté A. Par suite du rapport adopté entre les nombres de dents de la roue D et de la roue E_2 toutes les fois que l'arbre AB aura fait cinquante tours, l'arbre *ab* et les roues D_0, D_1 en auront fait cinquante et un. Tous les cinquante tours de AB, il y aura donc un contact entre les pointes d'acier de H_0, H_1 et

les languettes de cuivre de H_2, H_3 : si l'arbre marche à vide, *s'il n'est pas tordu*, les contacts seront simultanés, la décharge des deux piles le sera aussi ; le tambour ayant été recouvert d'un papier au cyanure ferroso-potassique, le courant y marquera un seul point. Si, au contraire, l'arbre transmet du travail à l'usine, *s'il est par conséquent tordu* quelque peu qu'on veuille d'ailleurs, le bras H_0 de la poulie C_0 devancera le bras H_1 de la poulie C_1, et par conséquent le contact de la pointe de H_0 avec la lame de cuivre de H_2 aura lieu plus tôt que celui de la pointe de H_1 avec la lame de H_3 : les deux piles se déchargeront donc successivement à travers le papier chimique, et comme le tambour TT fait deux tours pendant que l'arbre en fait un, l'intervalle angulaire sera encore doublé par ce fait.

Soient, en général, N_0 le nombre de dents de la roue D_2 calée sur l'arbre AB ; $(N_0 - a)$ celui des dents de la roue E_2 calée sur ab ; n_0 le nombre de dents de la roue G du tambour enregistreur ; r le rayon de ce tambour ; α l'arc de torsion de l'arbre moteur, dû au travail transmis ; y la distance des deux points marqués par les décharges consécutives. Pendant que AB fait N tours et décrit un arc $2\pi N$, la roue E_2 et par conséquent les quatre roues égales D_0, D_1, E_0, E_1 en font $N\left(\frac{N_0}{N_0-a}\right)$ et décrivent un arc $2\pi N\left(\frac{N_0}{N_0-a}\right)$. L'avance angulaire du dernier mouvement sur le premier est donc $2\pi N\left(\frac{N_0}{N_0-a}-1\right)$ et comme cette avance doit être égale à l'angle de torsion, on a

$$\alpha = 2\pi N\left(\frac{N}{N_0-a}-1\right);$$

d'où

$$N = \frac{\alpha(N_0-a)}{2\pi a}.$$

Pendant que l'arbre moteur AB fait N tours, le tambour

en fait $N\left(\frac{N^0}{n_0}\right)$ et chaque point de sa circonférence parcourt $2\pi r N\left(\frac{N_0}{n_0}\right)$.

Comme nous devons avoir $y = 2\pi r N\left(\frac{N_1}{n_1}\right)$, il vient aussi :

$$N = \frac{n_0 y}{2\pi r N_0};$$

d'où

$$\frac{n_0 y}{2\pi r N_0} = \frac{\alpha(N_0 - a)}{2\pi a};$$

et par suite :

$$\alpha = \frac{a n_0 y}{2 N_0 (N_0 - a)}.$$

Si le travail consommé était rigoureusement constant, y et α le seraient aussi ; mais ce travail varie nécessairement d'un instant à l'autre : y et α varient donc aussi. Pendant le mouvement du tambour enregistreur, la vis vv' fait avancer l'écrou qui porte le conducteur électrique; les points marqués par la décharge donnée par le contact de H_2 et H_3 sont en ligne droite par le fait de la construction même de l'appareil; au contraire ceux que donne la décharge passant par H_0 et H_1 varient de position, *selon l'effort transmis*. En prenant la moyenne des 400 valeurs de y que donne notre appareil pour le trajet de l'écrou de v en v' on obtient donc ensuite une valeur de α parfaitement correcte, pour toute la durée du travail répondant à $50 \times 400 = 20.000$ tours de AB. Au bout de ce temps, on débraye la roue G ; le tambour s'arrête, on enlève le papier et on en remet un autre.

Il n'est pas plus difficile avec le pandynamomètre électrique, qu'avec le pandynamomètre différentiel de déterminer le moment de torsion qui répond à la valeur moyenne de trouvée pour y ou pour α.

Le moteur étant arrêté et l'arbre AB étant débrayé, on

adapte sur l'arbre les deux leviers LM et L'M', on charge peu à peu les plateaux et l'on fait très-lentement osciller ces deux bras du haut en bas, de x en x' par exemple. L'appareil enregistreur étant embrayé, à chaque oscillation le tambour TT tourne lui-même en avant et en arrière; et si l'on a disposé les leviers pour que la décharge ait lieu par H_0 et H_2, quand le levier LM est en x par exemple, il y aura un second point de marqué par la décharge passant par H_1 et H_3. On charge les plateaux jusqu'à ce que l'écart des deux points réponde à peu près à l'écart moyen y trouvé pendant le travail du moteur : je dis à peu près; il est en effet inutile de viser à une coïncidence parfaite, puisque la torsion est à fort peu près proportionnelle à l'effort. Soit P' la charge qui répond à l'ordonnée y' peu différente de l'ordonnée *moyenne* y_0. On a pour la vraie valeur de P

$$P = P'\left(\frac{y_0}{y'}\right).$$

Étant connu P, le reste du calcul pour la détermination du travail se fait comme je l'ai dit dès le début, et l'on a :

$$F = 2\pi LNP$$

pour le travail en kilogrammètres, si N est le nombre de tours de AB par secondes.

La difficulté que présente dans la pratique industrielle le maniement d'un appareil électrique enregistreur me porte à recommander de préférence l'usage du pandynamomètre différentiel, qui d'ailleurs ne le cède en rien à l'autre quant à l'exactitude et que chacun peut faire construire aisément dans un atelier ordinaire. J'ai éprouvé moi-même les plus grandes difficultés pour obtenir un pointage électrique convenable sur TT et ce sont à vrai dire ces difficultés qui m'ont porté à imaginer l'appareil décrit en premier lieu.

MODE D'EMMAGASINAGE

DES HUILES DE PÉTROLE, DE SCHISTE, ETC.

Par MM. BIZARD et LABARRE.

1° *Rapport au comité consultatif des arts et manufactures;*

Par M. COMBES.

MM. Bizard et Labarre, constructeurs mécaniciens, à Marseille, ont adressé, le 10 avril dernier, à Son Excellence M. le Ministre de l'agriculture, du commerce et des travaux publics, une petite brochure contenant la description d'un mode d'emmagasinage des huiles de pétrole, de schiste et autres huiles spécifiquement plus légères que l'eau, pour lequel ils ont pris un brevet d'invention, et qui a l'avantage de mettre ces substances à l'abri de tout danger d'incendie. Ils ajoutent qu'ils vont construire deux appareils semblables à celui dont ils donnent la description, capables de contenir ensemble 900,000 litres pour l'usine pensylvanienne de Marseille, qui a été récemment le théâtre d'un incendie considérable. M. le Ministre a transmis la lettre et la brochure de MM. Bizard et Labarre à M. le président pour être soumises au comité consultatif des arts et manufactures, qui est invité à les examiner et à faire connaître ses observations et son avis.

Le procédé d'emmagasinage proposé par MM. Bizard et Labarre, pour soustraire les grands dépôts d'huile de pétrole et autres huiles spécifiquement plus légères que l'eau à tout danger d'incendie, consiste à les renfermer dans l'intérieur d'une cloche en tôle, logée elle-même dans

une enceinte ou bassin en maçonnerie imperméable à l'eau, et dont la profondeur dépasse un peu la hauteur de la cloche. Celle-ci est entièrement semblable à une cloche de gazomètre, avec cette différence qu'elle est fixe et scellée par son bord inférieur au fond de la fosse ou bassin en maçonnerie, et qu'elle est surmontée, dans sa partie centrale, d'un dôme de diamètre beaucoup moindre muni en haut d'une fermeture autoclave. La cloche communique par le bas, au moyen de larges ouvertures, avec l'intérieur du bassin. Les parois verticales de ce bassin sont parallèles aux parois de la cloche et sont assez distantes pour qu'un homme puisse s'introduire et manœuvrer dans l'intervalle existant entre elles. Deux tuyaux servant, l'un pour l'introduction des huiles dans la cloche, l'autre pour l'extraction partielle de l'huile qui y est contenue, sont branchés sur le dôme de petit diamètre qui la surmonte. Chacun est muni d'un robinet. Le tuyau d'extraction est un peu au-dessous du plan horizontal auquel est arasé le bassin en maçonnerie. Un autre tuyau pourvu aussi d'un robinet et que j'appellerai *tuyau de décharge* ou de *trop plein*, traverse la maçonnerie, vers la partie supérieure de ce bassin, et sert à vider à volonté l'eau dont il doit être rempli, comme nous le verrons, jusqu'au niveau dudit tuyau. Enfin, un tube métallique vertical traverse le fond supérieur de la cloche auquel il est fixé, et descend dans son intérieur jusque tout près de son bord inférieur continu, c'est-à-dire qu'il s'arrête à quelques centimètres au-dessus des ouvertures qui mettent par le bas la cloche en communication constante avec le bassin où elle est enfoncée. Ce tube, ouvert par le bas, peut être fermé à volonté au moyen d'un bouchon à vis ou autrement par sa partie supérieure qui dépasse le fond supérieur de la cloche.

Il faut se représenter, dans l'origine, la cloche et le bassin entièrement rempli d'eau; ce remplissage s'opère facilement en ouvrant le *trou d'homme* établi, ainsi qu'il a été

dit, au sommet du dôme du petit diamètre adapté au fond supérieur de la cloche et fermant, au besoin, le robinet du tuyau de décharge. Veut-on maintenant remplir la cloche d'huile de pétrole ou de schiste, on ferme ce trou d'homme; on ouvre le robinet du tuyau de décharge; on ferme le robinet du tuyau d'extraction de l'huile, et l'on ouvre le robinet du tuyau d'introduction. On verse l'huile dans une rigole en plomb noyée dans la partie supérieure de la maçonnerie du bassin, et dont le fond est à un niveau supérieur à celui du tuyau de décharge et, par conséquent, au niveau commun de l'eau dans la cloche et dans le bassin. Le tube vertical adapté à la cloche est ouvert à sa partie supérieure et met l'intérieur de la cloche en communication avec l'atmosphère. L'huile s'introduit ainsi dans la cloche, où elle vient flotter sur l'eau, en prenant la place d'un volume égal de ce dernier liquide qui s'écoule par dessous les bords de la cloche dans le bassin, et se déverse par le tuyau de décharge; si les niveaux respectifs du tuyau de décharge et de la rigole à laquelle aboutit le tuyau d'introduction de l'huile sont convenablement espacés, eu égard à la densité de l'huile et à la hauteur de la cloche, celle-ci se remplira intérieurement d'huile, de haut en bas, en chassant un volume d'eau égal au sien et finira par atteindre l'orifice inférieur du tube vertical et même par descendre au-dessous de cet orifice. Alors si ce tube a un diamètre suffisant, l'eau dont il est resté rempli jusque-là tombera, et l'huile prendra sa place. A ce moment la cloche sera remplie autant qu'elle doit l'être. On arrêtera l'introduction de l'huile en fermant le robinet du tuyau d'introduction et vidant au besoin l'excès d'huile que contiendra la règle en plomb, on fermera, par sa partie supérieure, le tube vertical adapté à la cloche. On fermera également le robinet du tuyau de décharge, et l'on achèvera de remplir d'eau le bassin au-dessus du niveau de ce tuyau de décharge jusqu'à ce qu'elle s'élève de plusieurs centimètres au-dessus du fond

supérieur de la cloche qui sera ainsi complétement immergée avec l'huile qu'elle renferme.

On comprend que pour puiser de l'huile dans la cloche, il suffira d'ouvrir le robinet du tuyau d'extraction. L'huile coulera par un tuyau sous la pression de l'eau extérieure dont un pareil volume rentrera sous la cloche en passant par-dessous ses bords, et devra être remplacée dans le bassin où le niveau sera entretenu constamment.

Le mode d'emmagasinage sous l'eau des huiles de pétrole et autres liquides non miscibles à l'eau et spécifiquement plus légers qu'elle, nous paraît offrir plusieurs avantages considérables, au double point de vue de la sûreté publique et même des propriétaires d'entrepôts de substances de cette nature. Au point de vue de la sûreté publique, tout danger d'incendie est écarté une fois que l'huile est renfermée dans la cloche recouverte d'eau, pourvu, bien entendu que la cloche ait une solidité suffisante et soit assez solidement fixée à la maçonnerie pour supporter la poussée qui résulte de la différence de densité de l'eau et de l'huile, poussée qui n'est compensée que pour une petite partie par son propre poids quand elle a des dimensions considérables. Cette condition est d'ailleurs facile à remplir. Les chances d'accidents d'inflammation ne se présentent que lors du remplissage ou de l'extraction de l'huile et sont faciles à éviter.

Il ne peut pas se former dans la cloche de mélanges de vapeur et d'air détonant, puisqu'elle est toujours complétement pleine d'huile ou d'eau.

Si la cloche n'était pas étanche, on le reconnaîtrait par l'huile qui s'échapperait par les fissures et viendrait nager à la surface de l'eau remplissant le bassin.

L'huile étant puisée à la partie supérieure, comme par décantation, la cloche s'en trouve entièrement vidée et purgée quand l'eau vient couler par le tuyau d'extraction. Ainsi, il n'y a pas de perte d'huile occasionnée par la diffi-

culté de vider les bassins à fond, point de manœuvres de pompes à exécuter, et de plus, s'il y a des réparations à faire, les ouvriers pourront s'introduire par le trou d'homme dans la cloche, après que le bassin aura été vidé d'eau, sans qu'il y ait à craindre d'y rencontrer une atmosphère inflammable.

Il ne sera peut-être pas aisé de reconnaître le moment précis où, lors du remplissage, le plan de séparation de l'eau et de l'huile sera descendu au niveau de l'orifice inférieur du tube vertical fixé au fond supérieur de la cloche. Les auteurs n'indiquent non plus aucun moyen propre à constater d'une manière facile la situation du plan de séparation des deux liquides, à une époque quelconque, pendant que la cloche sera en vidange. Il conviendrait que l'appareil reçût quelques additions sous ce rapport. Il semble facile d'imaginer des dispositions qui atteindraient le but indiqué. L'expérience seule pourra faire connaître si les appareils de MM. Bizard et Labarre ne présentent pas, en pratique, certains inconvénients non prévus; n'y aurait-il pas, par exemple, quelque mélange par diffusion de l'eau et des huiles à la surface de contact, et n'en résulterait-il pas des pertes d'huiles? Quoi qu'il en soit, il nous paraît fort désirable que l'expérience se fasse et il serait important que l'administration fût exactement renseignée sur les résultats de celle qui est annoncée dans l'usine pensylvanienne de Marseille.

Conclusions. — En résumé, j'ai l'honneur de proposer au comité d'émettre l'avis : 1° que le mode d'emmagasinage des huiles de pétrole et de schiste, communiqué à Son Excellence par MM. Bizard et Labarre paraît de nature à offrir certains avantages pour la sûreté publique et même pour les propriétaires d'entrepôts de ces substances ou d'usines dans lesquelles elles sont élaborées; qu'il est prudent toutefois d'attendre avant de prononcer un jugement définitif à cet égard, les résultats de l'expérience sur une

grande échelle annoncée dans l'usine pensylvanienne de Marseille; 2° qu'il y a lieu de la part de Son Excellence d'inviter M. l'ingénieur ordinaire des mines, en résidence à Marseïlle, à se mettre en rapport avec les inventeurs, à s'informer exactement de la suite donnée aux projets annoncés dans leur lettre et des résultats qu'ils ont obtenus jusqu'ici, et à faire connaître à l'administration supérieure les renseignements qu'il aura obtenus, avec ses observations; 3° qu'il convient, en attendant, de remercier MM. Bizard et Labarre de leur communication, et de les informer de la mission donnée, à ce sujet, à M. l'ingénieur des mines.

Le comité, après avoir entendu lecture du rapport et fait examen du dessin annexé à l'écrit de MM. Bizard et Labarre, adopte les conclusions du rapporteur.

2° *Rapport à Son Excellence M. le Ministre de l'agriculture, du commerce et des travaux publics, sur un nouveau réservoir pour l'emmagasinage des huiles minérales;*

Par M. VILLOT, ingénieur des mines.

Par une ettre en date du 14 juillet 1865, M. le Ministre de l'agriculture, du commerce et des travaux publics informait M. le préfet des Bouches-du-Rhône, que MM. Bizard et Labarre, constructeurs mécaniciens à Marseille, avaient adressé à son ministère, pour y être soumis à un examen, le plan avec notice explicative d'un réservoir destiné à emmagasiner les huiles de pétrole, de schiste et autres huiles spécifiquement plus légères que l'eau, de manière à les préserver de toute chance d'incendie. Ces messieurs faisaient en même temps connaître qu'ils allaient construire, pour un établissement de Marseille, deux de ces réservoirs d'une grande capacité.

L'ingénieur soussigné était invité à se mettre en rapport avec les inventeurs, à suivre le fonctionnement des appareils qu'ils disaient devoir construire, et à rendre compte à l'administration des observations que cet examen aurait pu lui suggérer.

Pour des raisons diverses, ce n'est qu'à la fin de 1866, qu'un réservoir devant servir industriellement fut construit à Marseille, d'après le système nouveau. C'est ce qui explique que le soussigné vienne, aujourd'hui seulement, remplir la mission à lui confiée il y a dix-huit mois.

Depuis que les bogheads, les schistes bitumineux et surtout les pétroles d'Amérique, de Birmanie, de Valachie entrent par les produits de leur distillation pour une si grande part dans l'éclairage public et particulier, il n'est pas de jour, on peut le dire, qui ne soit signalé par un accident plus ou moins grave, dû à l'emploi de ces liquides facilement inflammables. Quand l'incendie éclate dans un entrepôt, il peut devenir un désastre public. A Marseille, sous nos yeux, nous avons vu presque toutes les usines importantes qui traitent les huiles minérales, successivement incendiées; c'est en septembre 1863, celle de la société générale des pétroles, le feu s'y déclare dans les caves dont l'atmosphère est chargée de vapeurs inflammables, et se communique de là à plusieurs réservoirs; la même année, dans l'usine P. E. Caillol, l'incendie part de la salle de distillation, par l'inflammation du gaz à la sortie des serpentins; en janvier 1864, l'usine de la Pensylvanienne est à son tour victime; l'imprudence d'un ouvrier plombier cause l'explosion de quatre réservoirs contenant 200.000 kilos d'huile environ. Dans le courant de 1865, le feu se déclare à l'usine de *la Luciline* à Rouen, et tout récemment (décembre 1866) l'usine Dégola à Turin, malgré ses réservoirs en tôle, n'échappe point à un sinistre qui détruit pour plus de 100.000 francs de matériel et de marchandises. — Ces

faits ne sont point recueillis à la suite d'une enquête, nous les citons pour ainsi dire de souvenir, et il n'est pas douteux que l'on grossirait la liste au moyen de bien faciles recherches. Quand nous aurons rappelé l'incendie de l'entrepôt d'Anvers en 1865, qui dure plusieurs jours, celui de l'entrepôt de Philadelphie dans lequel le feu se déclare en 1863, pour une cause restée inconnue, répand dans les rues avoisinantes l'huile enflammée, et va assiéger et brûler les habitants à leurs portes; quand enfin nous aurons cité celui du grand entrepôt attenant au chemin de fer de l'Érié à New-York qui contenait un énorme amas de barils d'huile destinés à l'alimentation de la ville et à l'exportation et dont le *Courrier des États-Unis* fait monter le stock de 100.000 à 500.000 barils, communiquant le feu à deux steamers, un trois-mâts, plusieurs bricks et goëlettes et une cinquantaine de chalands, causant une perte matérielle de plus de cinq millions de francs et la mort d'une dizaine de personnes, nous en aurons dit bien assez pour faire comprendre quel intérêt puissant s'attache à la réalisation de cette idée : *Emmagasiner les huiles de pétrole et en général les huiles minérales inflammables, de telle façon qu'un incendie spontané soit impossible; bien plus, de façon qu'un incendie, fût-il à proximité du réservoir, fût-il sur le réservoir lui-même, l'huile emmagasinée restât intacte sans prendre feu.*

Le réservoir construit par MM. Bizard et Labarre, paraît atteindre le but aussi complétement que possible. L'inventeur est M. Ckiandi, ancien élève de l'école centrale et directeur d'une usine de pétrole à Marseille. C'est à lui que revient l'honneur d'avoir résolu ce difficile problème.

Le fonctionnement du réservoir a lieu comme nous le verrons plus bas, en vertu des principes les plus simples de l'hydrostatique, et il atteint son but spécial d'empêcher les incendies en s'opposant d'une manière radicale à l'in-

troduction de la plus petite quantité d'air possible au contact de l'huile inflammable.

Les *fig.* 1 et 2, Pl. IX, représentent une coupe verticale et un plan de l'appareil, à l'échelle de $\frac{1}{10}$.

R,R,R,R est un réservoir en tôle à section carrée, fermé en haut, ouvert en bas et scellé au fond d'une cuve en maçonnerie de même forme et de dimensions un peu plus grandes que lui. Un trou d'homme O, situé au centre du fond supérieur, est muni de deux tubulures latérales auxquelles on adapte des robinets R' et R'' pouvant donner ou intercepter la communication entre le réservoir et les tuyaux C et D. — Les parois verticales de la cloche se prolongent au-dessus du fond supérieur, et forment une capacité A de laquelle un liquide peut s'écouler par un robinet *r* manœuvré au moyen d'une tige verticale. Le tube QQ', ouvert par les deux bouts, traverse le fond supérieur. M est un tuyau de surverse dont l'usage va être bientôt expliqué; Z un autre tuyau muni d'un robinet et fixé au trou d'homme. Supposons l'appareil complétement vide. Il s'agit d'y introduire pour la première fois du pétrole. Pour cela, nous commençons par le remplir d'eau et à cet effet nous ouvrons le robinet du tube Z, nous fermons la surverse M, les robinets R' et R'', nous laissons *r* indifféremment ouvert ou fermé et nous amenons une source quelconque d'eau T, dans l'espace annulaire carré compris entre la caisse et la cuve. L'eau chassant l'air par le tube Z ouvert, s'élève et prend le même niveau dans la cloche BB, dans le tube QQ', dans l'espace annulaire; elle atteint le trou d'homme, l'emplit et arrive au niveau supérieur LL', après avoir pénétré dans l'espace AA si le robinet *r* est ouvert. A ce moment tout est plein d'eau sauf les tubes C et D, il n'y a plus d'air dans l'appareil. Maintenant, fermons Z, ouvrons R' et M et supposons qu'un tonneau soit amené en V pour faire passer son contenu dans le réservoir. Ne nous occupons pas d'ailleurs de l'eau contenue dans A, nous dirons plus loin à quel

objet elle répond. Nous pouvons, pour le moment, en faire abstraction, supposer par exemple *r* fermé, ce qui rend totalement indépendante l'eau de A, de l'eau contenue dans le reste de l'appareil. Cela posé, que va-t-il se passer? L'eau baisse dans l'espace annulaire et dans le tube QQ′ et atteint dans l'un et dans l'autre le niveau horizontal passant par M, son niveau en O ne se déprime point, elle reste pressée de bas en haut par la colonne atmosphérique sur tout le fond supérieur de la cloche. En même temps le pétrole se répand dans le tube CC; nous avons alors deux vases communiquants : la colonne annulaire en eau et la colonne intérieure formée de l'eau du réservoir surmontée du pétrole contenu dans le tube C. Cette dernière colonne plus lourde que l'autre tend à descendre, et l'huile plus légère que l'eau vient se loger dans le trou d'homme d'abord, ensuite dans la partie supérieure de la cloche, en déprimant une égale quantité d'eau qui s'échappe par M. Le réservoir s'emplit ainsi de haut en bas. Considérons l'opération en marche et soit EE la surface de séparation des deux liquides. Pour que le remplissage continue, il est évident que la condition nécessaire et suffisante est que l'on ait en désignant par *d* la densité du pétrole $Hd > h$. Quand on aura la condition limite $Hd = h$ ce qui arriverait nécessairement avec un réservoir suffisamment profond, l'introduction du pétrole cessera de lui-même et d'une manière générale, elle aura lieu en vertu de la différence entre ces deux quantités; l'écoulement du pétrole est donc d'autant plus rapide que le réservoir en contient moins en supposant la surverse M toujours également ouverte.

Le réservoir n'est point construit de manière que l'arrêt spontané se produise, et l'on est averti par le jeu du tube QQ′, que l'huile minérale a atteint le bas du réservoir qu'elle ne doit pas dépasser sous peine de déborder à l'extérieur de la cloche. Pendant tout le remplissage, le tube QQ reste plein d'eau. Quand le pétrole atteint le plan ho-

rizontal XY et le dépasse légèrement, la colonne d'eau QQ' ne peut se soutenir au milieu du pétrole, elle tombe brusquement au sein de l'eau du réservoir, et est remplacée par une colonne de pétrole qui monte au niveau même qu'a ce liquide dans le tube d'écoulement CC. Ce moment peut être rendu très-saisissable par un flotteur contenu dans le tube QQ' qui, soulevé brusquement par l'huile, actionnera une sonnerie d'alarme, et appellera, au besoin, l'attention de l'ouvrier. Celui-ci bouchera alors le tube QQ' au moyen d'un obturateur à vis ou autre, fermera le robinet R' et la surverse M. Le réservoir est plein.

Supposons que l'on ait à faire l'opération inverse : il s'agit maintenant de vider le réservoir dans des fûts placés en V'.

Emplissons d'eau jusqu'en LL' l'espace annulaire, et ouvrons R''. Nos deux vases communiquants ont maintenant, l'un pour hauteur en eau, la différence de niveau entre les plans horizontaux XY et LL', et l'autre pour hauteur en pétrole, la distance verticale de XY à DD. Le pétrole va donc s'écouler en V' et l'eau le remplacer de bas en haut. On la remplace elle-même nécessairement par le tuyau T. Si nous considérons l'opération au moment où le niveau de séparation est encore EE, l'écoulement par le tuyau D aura lieu en vertu des différences des colonnes d'eau H' et $h'd$, ou $H_1 + h'$ et $h'd$, ou bien encore en vertu de la hauteur d'eau $H_1 + h' (1 - d)$. D'où il suit qu'à mesure que h' diminue, c'est-à-dire que le réservoir se vide, la vitesse d'écoulement du pétrole diminue. C'est analogue à ce que nous avons vu pour le remplissage. Il convient de remarquer ici que la vitesse ne pourrait devenir nulle, et que le minimum qu'elle peut atteindre est celui de la vitesse donnée par la hauteur H_1 ; cela arrive quand le réservoir ne contient plus de pétrole.

On doit remarquer que pendant la vidange, le tube QQ' est plein de pétrole, l'eau qui s'introduit par le bas l'isole

du reste du liquide inflammable. Pour se débarrasser de cette petite quantité, insignifiante du reste, de pétrole, on établit entre le tube QQ′ et le tube DD et à la hauteur de celui-ci, une communication par un tube fermé par un petit robinet (non figuré sur le dessin).

Il ne sera pas inutile d'entrer ici dans quelques détails de construction.

On remarquera que le couvercle du trou d'homme n'est pas horizontal. Cette forme, légèrement inclinée, est destinée à permettre l'expulsion des dernières parcelles d'huile; les robinets R′ et R″ sont manœuvrés par des tiges filetées et tournant dans une partie formant écrou, de façon à empêcher le suintement de l'huile par le presse-étoupe. Pour descendre dans les plus petits détails, nous dirons que la forme des boîtes des robinets R′ et R″ ne nous paraît pas heureuse, il est à craindre que des bulles d'air viennent à se loger dans leur partie supérieure. On pourrait les remplacer avantageusement par des vannes manœuvrées, non plus par des tiges obliques, mais par des tiges verticales.

C'est au fond de la cuve en maçonnerie, qu'est scellé le réservoir. Il est nécessaire que ce scellement rende invariable la position de la caisse de tôle ; si quelques fissures venaient à se déclarer dans la maçonnerie inférieure ou latérale, il se produirait des fuites qui nuiraient au jeu de l'appareil en même temps qu'auraient lieu des pertes de matières. Il importe de remarquer, à ce sujet, que le fond de la caisse est toujours soumis, de bas en haut, à des pressions égales aux poids de colonnes d'eau ayant pour base ce fond même, et pour hauteurs, diverses hauteurs, selon qu'on emplit ou bien que l'on vide le réservoir. Pour l'appareil que nous avons vu fonctionner, on voit facilement que les limites inférieure et supérieure entre lesquelles cette pression peut varier sont de 800 kilog. et 12.800 kilog. pour le remplissage, 12.000 kilog. et 28.000 kilog. pour la vidange, en posant $d = 0.80$. L'épaisseur des parois en tôle

étant de 6 millimètres, la caisse avec les accessoires peut peser elle-même 3.500 kilog. Il en résulte que l'effort exercé par le liquide emprisonné sous la cloche pour arracher celle-ci, peut aller à plus de 20.000 kilog. répartis sur un périmètre de 16 mètres. Il y avait là un point sérieux à étudier, et il semble avoir été résolu d'une manière satisfaisante par l'adjonction de la capacité A, formée par le prolongement des parois verticales de la cloche. On remplit cette capacité d'eau dont le poids vient s'ajouter à celui du réservoir, et l'on peut ainsi équilibrer exactement avec une hauteur maximum de 1^{m},53 donnée au réservoir A, la pression, de façon que la cloche soit pour ainsi dire toujours suspendue au centre de la cuve. Dans la pratique, on ne prendra évidemment pas le soin de déterminer pour chaque hauteur de pétrole la hauteur d'eau dans A, nécessaire à l'équilibre. Il sera probablement suffisant de mettre un ou deux repères à l'intérieur correspondant aux hauteurs d'eau donnant l'équilibre parfait avec du pétrole de densité moyenne pour le réservoir plein, plein à moitié ou vide. Le robinet *r* peut servir, à l'occasion, à faire passer l'eau de A dans l'espace compris entre la cloche et la cuve en maçonnerie.

Les *fig.* 1 et 2 représentent le réservoir construit par MM. Bizard et Labarre, à Marseille avec l'addition du tube QQ' et du réservoir AA qui n'y sont pas adaptés; la charge d'eau y est remplacée par de vieilles fontes.

L'expérience à laquelle nous avons assisté est des plus concluantes, au point de vue capital d'arrêter les incendies. On a versé dans la rigole latérale où le pétrole sortant des fûts est reçu pour pénétrer dans le tube conduit C, 300 lit. de pétrole brut, et on l'a enflammé, le réservoir ayant été rempli au préalable. Les flammes couvrant plusieurs mètres carrés de terrain, s'élevaient à une très-grande hauteur, l'enduit en ciment du petit mur latéral éclatait, et rien ne se passait dans l'appareil. On a fait plus, et tandis que cet

ardent foyer était en pleine ignition, on a ouvert la surverse M, et le robinet R'. Le pétrole enflammé pénétrait ainsi par le tube C dans l'appareil; mais à 20 centimètres au-dessous de l'orifice extérieur de C, la flamme s'éteignait faute d'air.

Outre l'avantage incontestable et sur lequel nous devions le plus insister, d'éviter toute chance d'incendie ou d'explosion, le réservoir de M. Ckiandi en offre d'autres que l'on ne doit point passer sous silence. Les pertes dues à l'évaporation sont nulles, la présence de l'eau au-dessous de la couche de pétrole soumet forcément l'huile à un décantage naturel, et les matières étrangères se précipitent au fond du bassin en maçonnerie; on évite ainsi les déchets résultant de l'emploi des réservoirs anciens, dans lesquels les boues et les matières étrangères sont imprégnées d'huile et constituent une perte évaluée par les entrepositaires de pétrole de 3 à 5 p. 100, en y comprenant le déchet dû à l'évaporation. Le coulage, quand on emploie l'emmagasinage en fûts, est considérable; il sera nul par le nouveau système, si les maçonneries sont de bonne qualité. Les caisses pouvant être suffisamment bien équilibrées pratiquement, et par suite l'étanchéité des parois cimentées pouvant être regardée comme assurée. Enfin, et ceci a son intérêt capital pour le commerce des pétroles, les primes exceptionnellement fortes qu'on devait payer aux compagnies d'assurances pour les entrepôts d'une matière si dangereuse, n'auront plus de raison d'être et dégrèveront d'autant le prix de revient d'une substance dont l'emploi va se généralisant de plus en plus.

Marseille, le 26 février 1867.

Rapport au conseil d'hygiène du département des Bouches-du-Rhône;

Par M. Pirondi.

Par une lettre, en date du 20 décembre 1866, M. le sénateur, chargé de l'administration du département des Bouches-du-Rhône, invitait M. le vice-président du conseil d'hygiène, à vouloir bien confier à une commission le soin d'assister à des expériences que les sieurs Bizard et Labarre, constructeurs mécaniciens, se proposaient de faire dans un terrain dépendant du domaine Cuoq, et dans le but de prouver les avantages de leurs appareils pour l'emmagasinage des huiles minérales.

La commission devait s'assurer s'il y avait réellement avantage ou inconvénient dans l'emploi du système proposé, et rendre compte de sa missiòn dans le plus bref délai possible.

Les expériences en question devant avoir lieu avant la fin de l'année, et pareille époque n'étant guère propice à la convocation du conseil, une commission composée de MM. Aubin et Pirondi a accepté d'urgence l'examen de cette affaire, et je viens, en son nom, vous en soumettre aujourd'hui le résultat. Et d'abord, qu'il nous soit permis de faire observer que l'extension très-considérable qu'a pris l'usage des huiles minérales, et la dangereuse inflammabilité dont elles jouissent, ont depuis quelque temps exercé la sagacité de tous ceux qui visent à faire bénéficier l'industrie des progrès de la science sans détriment pour la santé publique. Mais le problème, dans l'espèce, est plus facile à poser qu'à résoudre : il s'agit en effet de garantir le détenteur d'huiles minérales contre toutes les chances d'*incendie*, d'*explosion* et de *coulage*. Et jusqu'à ce jour les modes d'emmagasinage généralement employés ont si peu répondu aux trois indications sus-mentionnées que l'admi-

nistration, d'après les avis des conseils d'hygiène, s'est toujours fait un devoir de limiter autant que possible la quantité d'huile que l'on pourrait permettre à chaque industriel de garder en dépôt.

Le système Ckiandi, essayé à Marseille par les sieurs Bizard et Labarre, peut-il résoudre le problème de manière à donner satisfaction à tous les intérêts? La commission n'hésiterait peut-être pas à émettre ici un avis favorable, mais elle ne doit pas oublier que la question qu'on pose au conseil d'hygiène est beaucoup plus simple ; car l'administration préfectorale s'est bornée à nous demander si l'appareil soumis à notre examen offre des avantages ou des inconvénients. — Sollicitée dans ces termes, la réponse ne nous semble pas bien difficile à faire, et vous allez, messieurs, en juger par vous-mêmes.

La forme et la disposition des réservoirs peuvent varier suivant l'emplacement qu'ils doivent occuper, mais ils peuvent être tous comparés aux cloches des gazomètres employés dans les usines à gaz, avec cette différence qu'ils se trouvent fixés au fond des bassins pleins d'eau par des armatures de fer, de façon à ce que tout mouvement ascensionnel ou latéral soit impossible.

Quant au système d'appareils appliqué aux réservoirs, il nous semble d'une assez grande simplicité : la cloche en tôle et sans fond se trouve renversée dans un bassin en maçonnerie ; appliquez à cet appareil les deux lois de physique relatives à la différence de densité de l'eau et de l'huile, et à la différence des niveaux, et vous saisirez du même coup d'œil quel est le mécanisme à l'aide duquel peuvent se faire le remplissage et la vidange des barils ; et, comment, dans ces diverses opérations, l'huile remplace l'eau, et l'eau peut remplacer l'huile sans solution de continuité, et sans, par conséquent, exposer le liquide inflammable au mélange avec l'air.

Cela dit, et n'ayant pas à nous occuper ici de la question

de *coulage* qui ne peut être d'une grande importance au point de vue de la salubrité, nous n'hésitons pas à déclarer que, d'après les essais auxquels nous avons assisté, non-seulement le réservoir Bizard et Labarre n'offre aucun inconvénient, mais encore qu'il réunit le double avantage de pouvoir mettre les huiles minérales à l'abri de l'incendie et des explosions.

C'est du moins ce qui semble résulter des expériences suivantes :

1° Après avoir rempli le réservoir par une charge considérable de pétrole brut (environ 40 ou 50 mille litres), qui est sans contredit la matière la plus dangereuse avec laquelle on puisse expérimenter, on a plongé une éponge imbibée de benzole et enflammée dans l'ouverture du conduit qui de la gouttière commune amène le liquide dans le réservoir. Ce conduit coudé est d'une longueur totale de 60 centimètres, présente un orifice d'entrée qui mesure 16 centimètres, et c'est précisément au milieu de ce conduit qu'on a plongé l'éponge enflammée. Or, l'huile sous-jacente a brûlé lentement comme brûlerait une lampe ordinaire convenablement préparée, et on a éteint ce petit foyer en le privant d'air aussi facilement qu'on aurait éteint une lampe en baissant la mèche.

2° Une deuxième expérience a été faite sur une certaine quantité d'huile qu'on a laissé expressément surnager au-dessus du réservoir; on y a mis le feu; elle a brûlé jusqu'à complète consommation et sans que l'énorme quantité d'huile contenue dans le réservoir se soit ressentie de la flamme qui le surplombait.

En présence de ces faits, nous croyons devoir résumer notre pensée en disant que l'appareil que nous avons vu fonctionner d'après le système Ckiandi, semble réaliser un très-grand progrès au point de vue de la sécurité publique.

Marseille, le 23 janvier 1867.

Suite au rapport du 31 mai 1865; par M. COMBES.

Dans sa séance du 31 mai 1865, le comité a examiné, sur le renvoi ordonné par M. le Ministre de l'agriculture, du commerce et des travaux publics, une brochure adressée par MM. Bizard et Labarre, constructeurs à Marseille, et contenant la description d'un réservoir destiné à emmagasiner les huiles de pétrole et autres matières inflammables plus légères que l'eau, préservant sûrement ces matières de toutes chances d'incendie. MM. Bizard et Labarre annonçaient, dans leur lettre d'envoi du 10 avril 1865, qu'ils allaient construire deux réservoirs de ce système pour lequel ils étaient brevetés, d'une capacité ensemble de 900 mètres cubes dans l'usine pensylvanienne de Marseille où un incendie récent avait brûlé plusieurs centaines de mètres cubes de pétrole.

Diverses difficultés ont fait ajourner la construction des réservoirs annoncés par MM. Bizard et Labarre, et ce n'est qu'à la fin de 1866 qu'un de ces appareils a été installé et mis en état de service. Il a été immédiatement l'objet d'expériences faites en présence de l'ingénieur des mines d'une part et de délégués du conseil d'hygiène et de salubrité de Marseille, dont les rapports, en date du 23 janvier 1867 (pour le conseil d'hygiène) et du 26 février suivant, pour l'ingénieur des mines, ont été adressés à M. le Ministre et sont renvoyés par Son Excellence au comité.

Il résulte du rapport de l'ingénieur des mines, qui est accompagné d'un plan et plus circonstancié que celui du conseil d'hygiène, que le réservoir établi à Marseille est une caisse en tôle de forme cubique d'environ 4 mètres de côté et pouvant contenir près de 60 mètres cubes de pétrole. Elle est ouverte sur une de ses faces et fixée dans une citerne étanche en maçonnerie, solide et bien étendue de 5 mètres de profondeur environ et dont la section horizon-

tale dépasse de $0^m,30$ à peu près dans chaque sens la base du cube, de manière à laisser entre les parois latérales extérieures de la caisse renversée et le percement intérieur de la citerne, un espace libre de 25 à 30 centimètres de largeur sur tout le pourtour. Les parois latérales de la caisse sont reliées par de fortes attaches en fer au fond de la citerne. Elles sont percées, à leur partie inférieure, d'une rangée de trous qui établissent une communication libre entre la capacité intérieure du réservoir et l'espace annulaire extérieur. Les mêmes parois latérales se prolongent au-dessus du fond supérieur de la caisse, jusqu'à la hauteur des murs de la citerne, de manière à former en dessus du réservoir cubique une caisse ouverte de 1 mètre de profondeur sur 4 mètres de largeur et de longueur, laquelle peut contenir 4.000 kilog. d'eau.

Une tubulure formée par une plaque assujettie au moyen de vis, est adaptée au fond supérieur du réservoir. Trois tuyaux munis de robinets sont adaptés à cette tubulure. L'un d'eux est vertical et sert à l'écoulement de l'air. Quand le réservoir est rempli d'eau affluente à sa partie inférieure, les deux autres, disposés horizontalement, traversent les parois de la citerne et servent, le premier, à l'introduction des huiles dans le réservoir, l'autre à l'extraction de ces mêmes huiles. Je ne reviendrai pas sur la description des procédés très-simples par lesquels l'huile est introduite ou extraite du réservoir. On les trouvera dans le rapport du 31 mai 1865. Je dirai seulement que le prolongement des parois verticales latérales du réservoir au-dessus de son fond supérieur, et la caisse de 4 mètres cubes de capacité qui résulte de ce prolongement, fournissent le moyen d'ajouter un poids d'eau de 4.000 kilogrammes à celui du réservoir en métal, pour contre-balancer la poussée que l'huile pressée par l'eau extérieure exerce sur le fond du réservoir, et qui tend à soulever celui-ci en rompant les attaches par lesquelles il est fixé par le bas au fond de la citerne, la né-

cessité de donner à ses attaches et aux parois du réservoir une résistance suffisante était signalée dans le rapport précité.

Les expériences faites tant par l'ingénieur des mines M. Villot, que par les délégués du conseil de salubrité de Marseille, confirment pleinement les prévisions favorables du rapporteur et du comité, en ce qui concerne la sûreté du nouveau mode d'emmagasinage des huiles de pétrole et autres liquides inflammables susceptibles de surnager l'eau sans se mêler avec elle, contre tout danger d'incendie.

1° Le réservoir ayant presque complétement été rempli d'huile de pétrole brute, et par conséquent des plus inflammables, une éponge imbibée de benzole et enflammée a été plongée dans l'entonnoir par lequel se termine la branche verticale du conduit qui aboutit du sommet du réservoir à la gouttière commune. L'huile sous-jacente a pris feu et brûlé lentement comme dans une lampe ordinaire ou un vase isolé sans se propager à la masse d'huile contenue dans le conduit et le réservoir. L'huile a été éteinte en fermant l'entonnoir et empêchant l'air d'y arriver.

2° Le réservoir étant rempli, une certaine quantité d'huile a été versée à dessein sur l'eau dont le réservoir était recouvert. Cette couche d'huile a été allumée et a brûlé jusqu'à complète consommation, sans que la masse énorme d'huile emmagasinée et séparée de la flamme par quelques décimètres d'eau en ait éprouvé le moindre effet.

3° Le réservoir étant rempli, on a versé 300 litres de pétrole brut dans la rigole où l'huile est reçue à la sortie des fûts, et qui aboutit au conduit d'introduction partant de la tubulure du réservoir. Le robinet de ce conduit était fermé. On a mis le feu à ces 300 litres de pétrole. La flamme couvrait plusieurs mètres carrés de terrain. L'enduit en ciment du petit mur faisant écrou du côté de la citerne éclatait, mais rien ne passait dans l'appareil. Tandis que ce foyer était en pleine ignition, on a ouvert le robinet du tuyau

d'admission, de manière à établir la communication de la masse contenue dans le réservoir avec le liquide enflammé au dehors. Le pétrole enflammé a pénétré ainsi dans le conduit, mais à $0^m,20$ au-dessus de l'orifice il s'éteignait faute d'air.

Ces observations sont de nature à lever tous les doutes sur les avantages considérables que présente le système de réservoirs brévetés au nom de MM. Bizard et Labarre pour l'emmagasinage des huiles de pétrole, au point de vue de la sûreté contre les incendies si fréquents et si dangereux dans les dépôts de ce genre, de l'économie des pertes d'huile par évaporation spontanée, et de la facilité des manœuvres du remplissage et de vidange des réservoirs. J'ajoute que ces réservoirs peuvent être construits dans les plus petites comme dans les plus grandes dimensions, et qu'ils peuvent être établis aussi bien chez de petits détaillants dont l'approvisionnement serait seulement de quelques hectolitres, que dans de vastes magasins ou entrepôts renfermant plusieurs milliers d'hectolitres. La manœuvre des petits réservoirs est extrêmement simple, facile, économique même, en ce sens qu'elle dispense de l'emploi de pompes et des vases de petite dimension où les fûts venant des usines sont déposés daus le débit courant.

Conclusions et avis. — J'ai, en conséquence, l'honneur de proposer au comité d'émettre l'avis qu'il y a lieu, de la part de Son Excellence M. le Ministre, de recommander l'emploi des réservoirs brevetés au nom de MM. Bizard et Labarre, et qui sont de l'invention de M. Ckiandi, ingénieur civil, directeur d'une usine d'épuration d'huiles minérales à Marseille, pour l'emmagasinage des huiles de pétrole, de schiste et tous autres liquides inflammables spécifiquement plus légers que l'eau et susceptibles de la surnager sans se mêler avec elle, tant dans les grands entrepôts que dans les magasins de la vente en détail; de faire imprimer dans les *Annales des mines* les rapports de M. l'ingénieur Villot, du

conseil de salubrité de Marseille et les avis du comité consultatif, et d'ordonner le tirage à part d'un assez grand nombre d'exemplaires pour être donnés à MM. les préfets des départements, aux ingénieurs et aux fabricants et marchands d'huiles minérales pour l'éclairage et autres liquides inflammables ayant des propriétés analogues.

Le comité, après avoir entendu la lecture de ce rapport, en a adopté les conclusions.

DES APPLICATIONS DE LA MÉCANIQUE
A L'HORLOGERIE.

Par M. RÉSAL, ingénieur des mines.

SUITE (*).

DES RÉGULATEURS DANS LES CHRONOMÈTRES.

§ I. — *Du pendule et du balancier.*

1. *Généralités.* — A une ou deux exceptions près, le régulateur d'un chronomètre se compose en principe d'un corps solide, animé, autour d'un axe fixe, d'un mouvement circulaire alternatif ou oscillatoire, dans de telles conditions que la *durée d'une oscillation* (ou l'instant qui sépare deux positions consécutives pour lesquelles la vitesse s'annule) est indépendante de l'amplitude ou de l'angle décrit; en d'autres termes, la condition fondamentale que remplit un régulateur est l'*isochronisme.*

Si par des dispositions spéciales sur lesquelles nous reviendrons, le régulateur, dans chaque oscillation et pendant un temps plus ou moins long, arrête soit une fois, soit deux fois le dernier organe de la transmission pour le rendre libre ensuite, que les arrêts aient toujours lieu pour les mêmes positions du régulateur, le mouvement des aiguilles sera intermittent, mais leurs périodes de repos et de mouvement étant respectivement égales, leur mouvement moyen sera uniforme et le chronomètre remplira le but proposé.

La condition de l'isochronisme est indispensable; car

(*) Voir la première partie, tome X, page 423.

l'amplitude des oscillations éprouve des variations, par suite des frottements sur l'axe, de la résistance de l'air et des chocs que l'on doit faire recevoir au régulateur de la part du dernier organe de la transmission pour compenser plus ou moins les effets des résistances ci-dessus, et empêcher qu'au bout d'un temps plus ou moins long le mouvement oscillatoire soit détruit. Nous ferons ressortir plus loin l'influence de ces différentes causes sur le mouvement du régulateur.

On sait que le mouvement d'un point sur une courbe fixe est isochrone, lorsque son accélération tangentielle est proportionnelle à l'arc parcouru, compté à partir d'un point fixe de la courbe qui devient le milieu de l'amplitude, et qu'elle tend constamment à ramener le mobile vers ce dernier point.

L'équation du mouvement d'un corps mobile autour d'un axe fixe étant de la même forme que celle qui est relative à un point qui se meut sur un cercle, on voit que, pour que ce mouvement soit isochrone, il suffit 1° que le moment des forces qui sollicitent le corps soit proportionnel à l'écart d'un plan fixe dans le corps passant par l'axe, par rapport à celle de ses positions qui correspond au milieu de l'oscillation; 2° que le moment tende constamment à ramener le corps dans la situation correspondant à cette position.

On peut supposer, pour simplifier, que le mouvement a lieu dans un plan perpendiculaire à l'axe autour de sa trace O, et nous désignerons par Ox l'intersection de ce plan avec celui de part et d'autre duquel on compte les écarts du corps.

Soient :

I le moment d'inertie du corps.

θ l'angle d'écart, considéré comme positif ou négatif, selon qu'il se trouve d'un côté ou de l'autre de la droite Ox.

$IK^2\theta$ le moment produisant l'isochronisme;

K étant une constante, on aura

$$I \frac{d^2\theta}{dt^2} = - IK^2\theta,$$

d'où

$$(1) \qquad \frac{d^2\theta}{dt^2} = - K^2\theta.$$

En désignant par M et N deux constantes arbitraires, l'intégrale générale de l'équation précédente sera

$$(2) \qquad \theta = M \cos Kt + N \sin Kt,$$

d'où pour la vitesse angulaire,

$$(3) \qquad \frac{d\theta}{dt} = K(-M \sin Kt + N \cos Kt).$$

Si l'on prend pour origine du temps l'instant où une oscillation commence, où pour lequel, $\frac{d\theta}{dt} = 0$, il faut que $N = 0$, et il vient

$$\theta = M \cos Kt,$$
$$\frac{d\theta}{dt} = - MK \sin Kt.$$

Ici, comme dans tout ce qui suit, nous supposerons pour fixer les idées que l'origine du temps correspond à une valeur négative de θ, dont nous représenterons par α la valeur absolue. Nous aurons ainsi $M = -\alpha$ et

$$(4) \qquad \theta = - \alpha \cos Kt,$$
$$\frac{d\theta}{dt} = \alpha K \sin Kt.$$

La vitesse s'annulera pour les valeurs successives 0, $\frac{\pi}{K}$, $\frac{2\pi}{K}$, $3\frac{\pi}{K}$... du temps, et les valeurs correspondantes de α seront $-\alpha, +\alpha, -\alpha, +\alpha\ldots\ldots$; on vérifie ainsi que le mouvement est symétrique par rapport à Ox, que la du-

rée T d'une oscillation, égale à $\frac{\pi}{K}$, est indépendante de l'amplitude 2α.

Une oscillation peut être considérée comme se composant de deux demi-oscillations que nous appellerons respectivemement *descendante* et *ascendante*, selon que le mobile se rapprochera ou s'éloignera de $0x$; chaque oscillation sera censée commencer par une demi-oscillation descendante.

2. *Du balancier.* — Le régulateur employé dans les chronomètres portatifs, le *balancier*, est un volant formé d'un anneau circulaire d'une section uniforme relié par son bras à son axe d'oscillation.

Le mouvement circulaire alternatif est produit par un ressort contourné, généralement en spirale ou en hélice, appelé *spiral réglant*, et concentrique à l'arbre du balancier ; l'une de ses extrémités est fixe et l'autre est encastrée dans le balancier.

Pour que le spiral produise l'isochronisme, il doit remplir certaines conditions (que M. Phillips a fait connaître dans un remarquable mémoire au t. XIX des *Annales des mines*), conditions que d'ailleurs on ne cherche réellement à bien réaliser que dans les chronomètres de marine et les montres d'un certain prix ; dans les montres ordinaires, l'isochronisme n'a lieu qu'à peu près, et encore en maintenant les écarts entre des limites suffisamment restreintes.

Pour régler un chronomètre dont le rouage est construit, il faut faire exécuter au balancier un nombre déterminé n d'oscillations par seconde, ou que l'on ait :

$$nT = 1,$$

ce qui exige une certaine relation que nous allons maintenant chercher à déterminer entre les dimensions, la masse du balancier et l'énergie du spiral.

Soient g l'accélération de la pesanteur ; p le poids du ba-

lancier; r le rayon moyen de l'anneau; h le moment produit par le spiral et relatif à un écart égal à l'unité d'angle, qui dépend de la forme, de la section, de la longueur et du coefficient d'élasticité du spiral (*).

Les bras du balancier ayant une très-faible masse comparativement à celle de l'anneau, on peut sans erreur sensible poser

$$I = \frac{p}{g} r^2.$$

La masse du spiral étant elle-même relativement très-petite, on peut en négliger l'inertie et poser tout simplement

$$\frac{pr^2}{g} \frac{d^2\theta}{dt^2} = -h\theta.$$

En comparant cette formule à l'équation (1) on reconnaît de suite que

$$T^2 = \frac{\pi^2 pr^2}{hg},$$

on a donc

$$\frac{pr^2}{h} = \frac{g}{n^2\pi} = \frac{1,0063}{n^2};$$

Cette formule suppose que l'on a pris le kilogramme pour unité de force et le mètre pour unité de longueur. Mais, en raison de la petitesse et de la légèreté des organes des chronomètres que nous considérons, il sera plus commode de substituer à ces deux unités le gramme et le millimètre, et l'on reconnaîtra sans peine que la formule ci-dessus deviendra alors

(5) $$\frac{pr^2}{h} = \frac{1006,8}{n^2}.$$

Pour réduire autant que possible le poids du balancier,

(*) Voyez le mémoire ci-dessus cité de M. Phillips.

on lui donne le plus grand diamètre compatible avec la disposition intérieure du chronomètre. On prend généralement ce diamètre égal à celui du barillet, c'est-à-dire à peu près à la moitié de celui de la platine et il ne reste plus d'indéterminés que p et h dans la formule ci-dessus.

Dans les montres ordinaires, on emploie un balancier en fer ou en laiton, et le réglage s'obtient en essayant plusieurs spiraux plus ou moins longs jusqu'au moment où l'on est arrivé au résultat voulu ; ce qui revient en définitive à trouver par des tâtonnements pratiques la valeur de l'inconnue h de l'équation (5).

Dans les chronomètres de marine, au contraire, on se donne le spiral. Pour régler le moment d'inertie du balancier, on enfonce plus ou moins des vis à têtes massives dans l'anneau qui est également une donnée fixe, mais qui présente des solutions de continuité en vue d'éviter les effets dus aux changements de température. On voit aussi que cela revient à trouver matériellement la valeur de l'inconnue p de l'équation (5).

Lorsque le spiral est rendu exactement isochrone, il ne donne lieu, comme l'a reconnu M. Phillips, à aucune pression sur l'axe du balancier ; la seule résistance sur les pivots n'est, par suite, due qu'à la viscosité des huiles et peut être considérée comme constante pour une nature et un état déterminés de l'huile.

On admet que la résistance de l'air éprouvée par le balancier est proportionnelle au carré de la vitesse. Cependant M. le général Didion a reconnu que cette résistance sur les roues à palettes est représentée par une constante augmentée d'un terme proportionnel au carré de la vitesse (*).

(*) Expériences sur la résistance de l'air opposée au mouvement des surfaces planes, concaves et convexes, 1852.

Soient R la résistance en kilog. et par mètre carré de surface ; S la somme des aires des ailettes, v la vitesse de leurs centres, on a

$$\frac{R}{S} = 0,0434 + 0,1002\, v^2$$

Dans tous les cas, en assimilant les bras et les vis régulatrices à des palettes, on peut faire cette dernière hypothèse en comprenant dans la constante le terme relatif à la viscosité des huiles.

3. *Du pendule.* — Le régulateur employé dans les chronomètres fixes est le *pendule composé*, qui n'est autre chose, comme on le sait, qu'un corps solide mobile autour d'un axe fixe horizontal et uniquement soumis à l'action de la pesanteur.

Soient :

M la masse du pendule.

l la distance de son centre de gravité à l'axe.

Le moment du poids Mg du corps par rapport à l'axe étant $Mgl\sin\theta$, on a

$$(6) \qquad I\frac{d^2\theta}{dt^2} = -Mgl\sin\theta.$$

Les oscillations de la perpendiculaire l abaissée du centre de gravité sur l'axe, seront d'ailleurs symétriques par rapport à la position verticale qu'elle occuperait pendant le repos; car on sait, d'après le principe des forces vives, que lorsque le centre de gravité d'un corps uniquement soumis à l'action de la pesanteur et sans vitesse initiale, descend d'une certaine hauteur, sa vitesse ne s'annule que lorsqu'il est remonté à la même hauteur (*).

(*) Si le corps se réduisait à un point matériel de masse m suspendu à un jet de longueur λ supposé sans pesanteur, ce qui constitue ce que l'on nomme le *pendule simple*, on aurait

$$m\lambda^2\frac{d^2\theta}{dt^2} = -mg.\lambda\sin\theta$$

ou

$$(a) \qquad \frac{d^2\theta}{dt^2} = -\frac{g}{\lambda}\sin\theta$$

et en comparant les formules (6) et (b') on reconnaît que les pendules

L'équation (6) ne peut prendre la forme de l'équation (1) qui convient à l'isochronisme que lorsque l'amplitude des oscillations est assez petite pour que l'on puisse en négliger le cube ou supposer $\sin\theta = \theta$. La durée des oscillations est alors donnée par la formule

$$(7) \qquad T = \pi \sqrt{\frac{I}{Mgl}}. \text{ (*)}$$

Pour voir dans quelles limites les écarts du pendule doivent être restreints pour que l'on obtienne l'isochronisme avec une approximation suffisante, nous allons chercher à tenir compte de la troisième puissance de α et θ. En

---

simple et composé oscilleront de la même manière si l'on a

$$(b) \qquad \lambda = \frac{I}{Ml}$$

et le premier est alors appelé le *pendule synchrone* du second.

On voit ainsi que tous les éléments matériels du pendule composé situés sur la parallèle à l'axe de suspension qui passe par le point de l, qui en est distant de λ, se meuvent comme s'ils étaient complètement indépendants des autres particules, propriété qui a fait donner à cette droite le nom d'axe d'*oscillation*.

Si I' est le moment d'inertie du corps par rapport à la parallèle à l'axe de suspension menée par son centre de gravité, on a, d'après une propriété connue $I = I' + Ml^2$ et la formule (b) devient

$$l(\lambda - l) = \frac{I'}{M}$$

relation qui exprime que le produit des distances au centre de gravité des axes d'oscillation et de suspension est constant et que par suite si le premier devient un axe de suspension, le second sera l'axe d'oscillation correspondant; ce que l'on exprime en disant que les axes de suspension et d'oscillation sont réciproques.

(*) Ou par,

$$T = \pi \sqrt{\frac{\lambda}{g}}.$$

posant $\frac{Mgl}{I} = K^2$, l'équation (6) devient

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} = -K^2\theta - \frac{K^2\theta^3}{6}.$$

Si nous substituons dans θ^3 la valeur (4) de θ qui est exacte aux termes du troisième ordre près, l'erreur commise dans l'équation précédente sera du cinquième ordre ou négligeable, et nous aurons en réduisant

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} = -K^2\theta - \frac{\alpha^3 K^2}{24}\cos 3Kt - \frac{\alpha^3 K^2}{8}\cos Kt,$$

équation linéaire dont l'intégrale générale est

$$\theta = M\cos Kt + N\sin Kt + \frac{\alpha^3}{16}\left(\frac{\cos 3Kt}{2} - Kt\sin Kt\right).$$

En déterminant les constantes M et N de manière que $\theta = -\alpha$, $\frac{d\theta}{dt} = 0$ pour $t = 0$, on trouve

$$\theta = -\alpha\cos Kt + \frac{\alpha^3}{16}\left(\frac{\cos 3Kt}{2} - \frac{\cos Kt}{2} - Kt\sin Kt\right);$$

d'où

$$(8)\quad \frac{1}{K}\frac{d\theta}{dt} = \alpha\sin Kt + \frac{\alpha^3}{16}\left[-\frac{3}{2}\sin 3Kt + \left(\frac{1}{2} - K\right)\sin Kt - - Kt\cos Kt\right].$$

Nous désignerons par T' la durée d'une oscillation calculée dans l'hypothèse actuelle, pour la distinguer de celle $T = \frac{\pi}{K}$ qui correspond à l'isochronisme lorsque l'on néglige θ^3. Pour déterminer T' on devra égaler à zéro le second terme de la formule (8), supposer $t = T'$ dans le premier terme de l'équation résultante et tout simplement

$Kt = KT = \pi$ dans le second terme pour continuer le mode d'approximation adoptée; et l'on trouve ainsi

$$\sin KT' = -\frac{\alpha^2}{16} KT;$$

d'où enfin

$$(9) \qquad T' = T\left(1 + \frac{\alpha^2}{16}\right).$$

La durée de l'oscillation se trouve donc augmentée dans la proportion de la seizième partie du carré de la demi-amplitude.

Dans les chronomètres fixes l'étendue des oscillations est comprise entre 4° et 8°, selon que l'espace dont on dispose permet de donner une longueur plus ou moins grande au pendule. L'angle α correspond ainsi à 4° au plus ou est égal au maximum à $\frac{4}{180}\pi = 0{,}07$. La plus grande variation que peut éprouver la durée d'une oscillation par suite d'altérations dans les amplitudes dues aux causes exposées pour les balanciers, sera donc inférieure à $\frac{0{,}07^2}{16}$ ou à $\frac{1}{3333}$, ce qui est insignifiant.

Parmi toutes les formes que l'on peut donner au pendule réglant, il convient de choisir celles qui déterminent le moins de résistance de la part de l'air et qui comprennent une plus faible masse pour une durée d'oscillation donnée. C'est pourquoi, dans la pratique, on le compose d'une tige relativement légère supportant une lentille limitée par deux calottes sphériques réunies par leurs bases.

Supposons que l'on ait un chronomètre fixe, construit de telle manière que pour la régler, il faille employer un pendule qui exécute une oscillation dans le temps T, et proposons-nous de déterminer les conditions que doit remplir ce pendule. Nous aurons d'abord d'après la formule (7)

$$I = \frac{T^2}{\pi^2} Mgl.$$

Soient m la masse de la lentille, a le rayon des bases des calottes sphériques, f la flèche de ces calottes; on a pour le moment d'inertie de la lentille, par rapport à son axe de révolution (*)

$$\frac{m}{10}\cdot\frac{f^4+5a^2f^2+10a^4}{f^2+3a^2};$$

expression d'une application assez difficile; mais à laquelle on peut approximativement substituer la suivante :

$$\frac{ma^2}{3}$$

en remarquant que $\frac{f}{a}$ est une petite fraction et que l'erreur relative commise n'est que de

(*) Il suffit en effet de considérer l'une des lentilles plan-convexes qui constituent la lentille du pendule. Soient r le rayon de la sphère à laquelle appartient la calotte, et ρ la densité de la matière. Le moment d'inertie d'une tranche perpendiculaire à l'axe dont x et y sont la distance au sommet de la lentille et le rayon, est

$$\frac{1}{2}\pi\rho y^4 dx = \frac{1}{2}\pi\rho(2rx - x^2)\,dx.$$

En intégrant de o à f, on trouve pour le moment cherché

$$\frac{1}{2}\pi\rho\left(\frac{4r^2f^3}{2} - \frac{4rf^4}{4} + \frac{a^5}{5}\right)$$

ou en substituant la valeur $r = \frac{a^2+f^2}{2f}$,

$$\frac{\pi\rho f}{6.10}(f^4 + 5a^2f^2 + 10a^4)$$

et enfin la formule du texte en mettant en évidence la masse

$$\frac{1}{6}\pi\rho\left(f^3 + 3a^2f\right).$$

$$-\frac{1}{3}\frac{f^2}{a^2}\frac{\left(5+3\frac{f^2}{a^2}\right)}{10+\frac{f^4}{a^4}+5\frac{f^2}{a^2}}.$$

Nous établirons même une compensation en supposant que la masse de la tige se trouve condensée dans celle de la lentille, ce qui revient à poser

$$I=\frac{Ma^2}{3}+Ml^2,$$

par suite

$$(10)\qquad \frac{a^2}{3}=\frac{T^2}{\pi^2}gl-l^2.$$

Cette formule permettra de déterminer l'une des deux quantités a et l connaissant l'autre, et toutes deux si l'on établit entre elles une relation déterminée.

4. *Des différents modes de suspension adoptés pour le pendule.*

1° *Suspension à couteau.* — Cette suspension, semblable à celle du fléau des balances, a été autrefois très-employée, mais elle est maintenant presque abandonnée, d'une part, à cause de l'usure du couteau et de la gouttière, de l'autre, parce que la position du couteau dans la gouttière n'est pas rigoureusement invariable, de sorte que le pendule n'oscille pas réellement autour d'un axe fixe.

La pression sur la gouttière est la résultante du poids Mg et des forces d'inertie. Or on sait que les dernières se composent en une seule, qui est la force d'inertie de la masse supposée concentrée à son centre de gravité et qui a pour valeur

$$-Ml\frac{d^2\theta}{dt^2}$$

ou en vertu de l'équation (6)

$$\frac{M^2 l^2 g\theta}{I} = \frac{Mg\theta}{1 + \frac{I'}{Ml^2}},$$

I' étant le moment d'inertie du corps, par rapport à un axe parallèle à l'arête du couteau, passant par le centre de gravité. Comme, en négligeant les termes du second ordre, cette force peut être considérée comme horizontale, la première cherchée a pour valeur

$$\sqrt{M^2 g^2 + \frac{M^2 g^2 \theta^2}{+\frac{I'}{Ml^2}}} = Mg\sqrt{1 + \frac{\theta^2}{1 + \frac{I'}{Ml^2}}},$$

ou tout simplement Mg en négligeant le carré de θ.

Un couteau n'étant autre chose qu'un tourillon d'un très-petit rayon, pour avoir le moment du frottement du rayon par rapport à son axe, il suffira de multiplier Mg par le produit de ce rayon et du coefficient de frottement (*).

Ainsi donc les oscillations du couteau déterminent une résistance dont le moment peut être considéré comme constant.

Pour régler le pendule ou pour faire subir à son moment d'inertie les petites variations nécessaires pour arriver à une bonne marche, on emploie une masse additionnelle ou curseur que l'on peut fixer par une vis aux différents points du prolongement de la tige au delà de la lentille.

2° *Suspension par un fil de soie.* — Cette suspension s'applique aux pendules ordinaires d'appartement. Le réglage s'obtient en modifiant en conséquence la longueur du fil de soie, au moyen d'un mécanisme très-simple à concevoir.

(*) Ce qui suppose toutefois que l'on néglige devant l'unité le carré de ce coefficient.

3° *Suspension à lames.* — Cette suspension, qui est la plus usitée, consiste en deux lames identiques comprises dans un plan perpendiculaire au plan d'oscillation, encastrées d'une part dans la partie supérieure de la masse oscillante, de l'autre dans une chappe ou monture. Les lames traversent entre la chappe et le pendule, une rainure dont la largeur est autant que possible strictement égale à leur épaisseur. Cette rainure détermine dans le mouvement oscillant un encastrement des lames qui sont placées un peu à distance l'une de l'autre pour éviter des effets de torsion. On emploie plusieurs dispositions, pour la description desquelles nous renverrons aux traités spéciaux d'horlogerie, qui permettent de faire varier la longueur de la portion des lames comprise entre la rainure et le pendule que l'on règle par ce moyen.

5. *Influence de la suspension à lames sur le mouvement du pendule.* — Pour éviter des effets permanents de flexion qui seraient préjudiciables à la marche et à la solidité du pendule, on fait en sorte, que lorsqu'il est au repos, le plan des deux lames passe par le centre de gravité de la masse.

Soient (Pl. X, *fig.* 13) :

A l'encastrement de suspension,

AB la forme rectiligne des lames quand le pendule est au repos, B étant l'encastrement dans le corps,

AB_1 la forme infléchie des bases correspondant à une position quelconque du pendule, B_1 étant ce que devient le point B,

θ l'inclinaison de la tangente au point B_1 de AB_1 sur la direction An de AB,

Ay la perpendiculaire en A à Ax,

x,y les coordonnées d'un point m de AB,

μ le moment d'élasticité des lames,

M la masse du corps suspendu aux lames,

I son moment d'inertie par rapport à l'axe horizontal projeté en B_1 ou B,

l la distance à cet axe du centre de gravité G de M.

ε la longueur des lames dont le rapport à l est une petite fraction.

Nous négligerons 1° les termes d'ordres supérieurs au 3e en θ et ε; 2° l'allongement variable des lames (*) en supposant $AB = AB_1$; de sorte que BB_1 que nous désignerons par f sera regardé comme une perpendiculaire à Ax et que la vitesse du point B aura pour valeur $\frac{df}{dt}$. 3° la masse des lames.

Le mouvement du corps peut être considéré comme se composant d'une translation $\frac{df}{dt}$ parallèle Ay et d'une rotation $\frac{d\theta}{dt}$ autour de l'axe projeté en B_1.

Le moment du poids mg par rapport au point m est

$$-Mg(l\sin\theta + f - y) = -Mg(l\theta + f - y).$$

La force d'inertie due au mouvement de translation donne par rapport au même point le moment

$$-M\frac{d^2f}{dt^2}(l\cos\theta + \varepsilon - x),$$

ou tout simplement

$$-Ml\frac{d^2f}{dt^2}.$$

Le moment des quantités de mouvement dû à la rotation par rapport au point m étant du premier ordre, peut être considéré comme étant égal au même moment par rapport

(*) Il faut se rappeler qu'un fil d'acier se rompt lorsqu'il subit un allongement proportionnel inférieur à $\frac{1}{4500} = 0{,}00023$, et dans le cas du pendule les variations de longueur sont bien inférieures à cette valeur.

au point B; ce qui donne pour le terme correspondant dû à l'inertie

$$-I\frac{d^2\theta}{dt^2};$$

D'autre part, le moment des forces élastiques développées en m est $\mu\frac{d^2y}{dx^2}$ en négligeant $\left(\frac{dy}{dx}\right)^2$ devant l'unité. Il vient donc

$$\mu\frac{d^2y}{dx^2} = -Mg(l\theta + f - y) - I\frac{d^2\theta}{dt^2} - Ml\frac{d^2f}{dt^2},$$

ou en remarquant que $\frac{f-y}{l\theta}$ toujours une petite fraction

$$\mu\frac{d^2y}{dx^2} = -Mgl\theta - I\frac{d^2\theta}{dt^2} - Ml\frac{d^2f}{dt^2}.$$

En intégrant cette équation par rapport à x, en remarquant que $\frac{dy}{dx} = 0$, $y = 0$ pour $x = 0$, on trouve

$$\mu\frac{dy}{dx} = -x\left(Mgl\theta + Ml\frac{d^2f}{dt^2} + I\frac{d^2\theta}{dt^2}\right),$$

$$\mu y = -\frac{x^2}{2}\left(Mgl\theta + Ml\frac{d^2f}{dt^2} + I\frac{d^2\theta}{dt^2}\right).$$

Pour $x = \varepsilon$, on a $\frac{dy}{dx} = \theta$, $y = f$, par suite

$$\mu\theta = -\varepsilon\left(Mgl\theta + Ml\frac{d^2f}{dt^2} + I\frac{d^2\theta}{dt^2}\right),$$

$$\mu f = -\frac{\varepsilon^2}{2}\left(Mgl\theta + Ml\frac{d^2f}{dt^2} + I\frac{d^2\theta}{dt^2}\right);$$

d'où

$$f = \frac{\theta\varepsilon}{2}$$

et la première de ces équations devient

$$(11)\qquad \frac{d^2\theta}{dt^2} = -\theta\frac{\left(Mgl + \frac{\mu}{\varepsilon}\right)}{I + \frac{Ml\varepsilon}{2}}.$$

On voit ainsi que l'isochronisme subsiste toujours, mais que la durée des oscillations est modifiée par l'élasticité des lames.

Si l'on considère le pendule comme tournant effectivement autour d'un axe projeté au milieu de AB, l'influence de l'élasticité sera représentée par le terme en μ de l'expression précédente.

La longueur du pendule synchrone sera

$$\lambda = \frac{I + Ml\frac{\varepsilon}{2}}{Ml + \frac{\mu}{\varepsilon g}}.$$

et variera plus rapidement avec ε que si, les lames étant rigides, le pendule oscillait librement autour de l'axe projeté en A; de sorte que l'on doit arriver au réglage par des variations de longueur du pendule, moindres que lors des suspensions par couteau et fil de soie.

Si $\varepsilon = 0$, λ est nul, ainsi que la durée des oscillations, ce qui devait être, puisque alors la masse M est invariablement encastrée et qu'elle n'est plus susceptible d'aucun mouvement.

6. *Discussion relative à la formule que l'on doit admettre pour représenter la résistance de l'air sur le pendule.* — Poisson, dans son *Traité de mécanique*, rappelle que, en faisant osciller un pendule simple, de manière que sa demi-amplitude initiale soit très-petite, par exemple un tiers de degré, Borda a reconnu que les demi-amplitudes successives décroissent sensiblement en progression géométrique, ce qui est conforme à ce qui résulte de l'hypothèse d'une résistance proportionnelle à la simple vitesse. Il conclut de cette expérience, non-seulement que la résistance de l'air n'altère pas l'isochronisme, mais encore qu'elle ne modifie pas d'une manière appréciable la durée des oscillations dans le vide.

Il ajoute que lorsque les amplitudes sont plus grandes qu'un tiers de degré (ce qui est le cas de l'horlogerie), la décroissance en progression géométrique ne se vérifie plus, qu'il faut dès lors faire une autre hypothèse sur la loi de la résistance de l'axe, et il admet celle du carré de la vitesse, sans faire d'application des formules auxquelles il est conduit.

M. Girault (*) conclut par le calcul, de ses propres recherches expérimentales sur la décroissance des amplitudes de pendules de diverses formes, que la résistance de l'air est fort bien représentée par un polynome du troisième degré, fonction de la vitesse, sans terme constant. Il se trouve sous certain rapport en désaccord avec MM. Piobert, Morin et Didion qui ne font intervenir la troisième puissance de la vitesse que dans les mouvements très-rapides, comme celui des balles et des boulets, tandis que pour des vitesses ordinaires de corps de différentes formes, ils n'arrivent qu'à un terme proportionnel au carré de la vitesse augmenté d'une constante.

Nous admettrons cette dernière loi, à cause de sa simplicité d'une part, puis parce qu'il paraît assez probable qu'on pourrait le faire cadrer d'une manière satisfaisante avec les résultats obtenus par M. Girault dont le beau travail n'en est pas moins acquis à la science.

§ II. — De l'influence des résistances passives sur le mouvement des régulateurs.

7. Qu'il s'agisse d'un balancier ou d'un pendule, nous avons vu plus haut que 1° les formules relatives au mouvement d'un régulateur, abstraction faite des résistances passives, sont

(*) Mémoires de l'Académie des sciences de Caen, 1861.

(1) $$\frac{d^2\theta}{dt^2} = -K^2\theta,$$

(2) $$\frac{d\theta}{dt} = \alpha K \sin Kt,$$

(3) $$\theta = -\alpha \cos Kt.$$

(4) $$T = \frac{\pi}{K}.$$

2° le moment des résistances ci-dessus par rapport à l'axe de rotation, en désignant par β et γ deux constantes, est de la forme

$$-K^2\left(\beta + \gamma \frac{d\theta^2}{dt^2}\right).$$

et se compose aussi d'une partie constante et d'un terme proportionnel au carré de la vitesse angulaire. Nous allons examiner successivement l'influence de ces deux résistances partielles sur le mouvement du régulateur, et nous terminerons en les faisant entrer simultanément en ligne de compte.

8. *Hypothèse d'une résistance constante.* — Il suffit de voir ce qui a lieu pour une seule oscillation, et pour fixer les idées nous choisirons celle qui correspond à l'origine du temps, θ commençant par être négatif. Dans toute l'étendue de cette oscillation $\frac{d\theta}{dt}$ est positif, et comme la résistance est d'un sens contraire à celui de la vitesse angulaire, nous aurons, au lieu de l'équation (1),

(1') $$\frac{d^2\theta}{dt^2} = -K^2(\theta + \beta),$$

et l'on voit de suite que pour obtenir les intégrales première et seconde de cette équation, il suffit de changer θ en $\theta + \beta$ et α en $\alpha - \beta$ dans les formules (2) et (3), ce qui donne

$$(2') \qquad \frac{d\theta}{de} = K(\alpha - \beta) \sin Kt,$$

$$(3') \qquad \theta - \beta = -(\alpha - \beta) \cos Kt.$$

La première valeur de t après $t = 0$ qui annule la vitesse angulaire est toujours

$$(4') \qquad T = \frac{\pi}{K},$$

de sorte que la résistance considérée n'altère pas la durée de l'oscillation.

Mais en appelant α_1 la valeur correspondante de θ, c'est-à-dire l'amplitude de la demi-oscillation ascendante de l'oscillation totale considérée, la formule (3') donne

$$\alpha_1 = \alpha - 2\beta.$$

Il est clair que la durée de l'oscillation suivante sera encore donnée par la formule (4') et que l'amplitude de sa partie ascendante sera

$$\alpha_2 = \alpha_1 - 2\beta = \alpha - 2 . 2\beta$$

et ainsi de suite.

Il suit de là que la résistance constante n'altère pas la durée des oscillations, que le mouvement reste isochrone, mais que les amplitudes successives diminuent en progression arithmétique dont la raison est 2β ; de sorte que au bout d'un certain temps elles seront complétement anéanties. Le nombre n d'oscillations que le pendule exécutera depuis l'origine du temps jusqu'au moment où tout mouvement aura cessé sera la plus grande solution entière de l'équation

$$n = \frac{\alpha}{2\beta}.$$

9. ***Hypothèse d'une résistance proportionnelle au carré de la vitesse.*** — En considérant comme ci-dessus l'oscillation à partir de laquelle on commence à compter le temps, on a

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} = -K^2\left(\theta + \gamma\frac{d\theta^2}{dt^2}\right). \tag{5}$$

Nous supposerons, comme cela a lieu dans la réalité, que la constante γ soit assez petite pour que l'on puisse en négliger les puissances supérieures à la seconde, et nous poserons en conséquence *

$$\theta = \theta_0 + \gamma\theta_1 + \gamma^2\theta^2.$$

θ_0, θ_1, θ_2 étant des fonctions de t indépendantes de γ.

(*) On peut obtenir facilement une intégrale première de l'équation (5) en posant

$$u = \frac{d\theta^2}{dt^2}$$

d'où

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} = \frac{du}{d\theta}$$

de sorte qu'il vient

$$\frac{du}{d\theta} + 2\theta^2\gamma u = -2K^2\theta$$

équation linéaire qui, d'après une règle connue, a pour intégrale

$$u = \frac{d\theta^2}{dt^2} = \frac{1}{2\theta^2\gamma^2} - \frac{\theta}{\gamma} + Ce^{2K^2\gamma\theta}$$

C étant une constante arbitraire que l'on déterminera par la condition $\frac{d\theta}{dt} = 0$, $\theta = -\alpha$ pour $t = 0$.

Je suis arrivé à ce mode d'intégration en 1856 dans une de mes leçons à la Faculté des sciences de Besançon, et je l'ai indiqué dans une note insérée tardivement dans les *Annales de mathématiques*, 1860. M. Yvon Villarceau dans un savant et intéressant mémoire sur le réglage des chronomètres (*Annales de l'Observatoire* 1857) est arrivé d'une autre manière à l'intégrale ci-dessus qui ne peut faire connaître que t en fonction θ et encore au moyen d'une intégrale non réductible.

Les valeurs successives du temps ne pouvant s'obtenir que par

En substituant cette expression dans l'équation (5) et identifiant les termes multipliés par les mêmes puissances de γ on trouve

$$(6)\quad \begin{aligned} \frac{d^2\theta_0}{dt^2} &= -K^2\theta_0, \\ \frac{d^2\theta_1}{dt^2} &= -K^2\left(\theta_1 + \frac{d\theta_0{}^2}{dt^2}\right), \\ \frac{d^2\theta_2}{dt^2} &= -K^2\theta_2, \end{aligned}$$

et l'on satisfera aux conditions du problème en exprimant que pour $t = 0$ on a

$$\begin{aligned} \theta_0 &= -\alpha & \frac{d\theta_0}{dt} &= 0, \\ \theta_1 &= 0 & \frac{d\theta_1}{dt} &= 0, \\ \theta_2 &= 0 & \frac{d\theta_2}{dt} &= 0. \end{aligned}$$

La première des équations (6) donne d'abord

$$(7)\qquad \theta_0 = -\alpha\cos Kt, \quad \frac{d\theta_0}{dt} = -\alpha K\sin Kt$$

et la seconde devient par suite

$$\frac{d^2\theta_1}{dt^2} = -K^2\left(\theta_1 + \frac{\alpha^2K^2}{2} - \frac{\alpha^2K^2}{2}\cos 2Kt\right),$$

équation linéaire dont l'intégrale générale est

---

des quadratures, on ne voit pas nettement l'influence de la résistance de l'air sur le mouvement oscillatoire. Toutefois M. Yvon Villarceau en partant de l'intégrale ci-dessus, et développant les exponentielles est parvenu au résultat que nous nous proposons d'obtenir dans le texte en employant une méthode qui nous paraît plus simple.

$$(7') \quad \theta_1 = -\frac{\alpha^2 K^2}{2}\left(1 + \frac{1}{3}\cos Kt\right) + M\cos Kt + N\sin Kt.$$

M et N désignant deux constantes arbitraires qui étant déterminées par les conditions relatives aux limites, donnent

$$\theta_1 = \alpha^2 K^2 \left(-\frac{1}{2} - \frac{1}{6}\cos 2Kt + \frac{2}{3}\cos Kt\right).$$

La troisième des équations (6), vu les conditions auxquelles doit satisfaire θ_2, donne

$$\theta_2 = 0.$$

On a donc aux termes près du troisième ordre en γ,

$$(8) \quad \theta = -\frac{\alpha^2 K^2 \gamma}{2} - \left(\alpha - \frac{2}{3}\alpha^2 K^2 \gamma\right)\cos Kt - \frac{\alpha^2 K^2 \gamma}{6}\cos 2Kt.$$

Cette formule montre que la première valeur de t après zéro qui annule $\frac{d\theta}{dt}$, est $T = \frac{\pi}{K}$; de sorte que la durée de l'oscillation est la même que si la résistance n'existait pas.

L'amplitude α_1 de la partie ascendante de l'oscillation est

$$\alpha_1 = \alpha - \frac{4}{3}\gamma^2 \alpha^2 K^2;$$

on aurait de même pour l'amplitude α_2 de la demi-oscillation ascendante suivante

$$\alpha_2 = \alpha_1 - \frac{4}{3}\gamma \alpha_1{}^2 K^2$$

et ainsi de suite.

La résistance supposée n'altère donc pas l'isochronisme, mais elle réduit successivement les amplitudes.

Si l'on néglige le carré de γ, les amplitudes décroîtront en progression arithmétique, et le nombre n des oscillations

exécutées depuis l'origine du temps jusqu'au moment où le mouvement sera anéanti, sera la plus grande solution entière de l'équation

$$n = \frac{3}{4}\frac{\alpha}{\gamma K^2}.$$

La durée de la partie ascendante de l'oscillation ne différera de $\frac{1}{2}\frac{\pi}{K}$ que d'une quantité de l'ordre γ, de sorte qu'en suivant $\theta = 0$ dans l'équation (8) et $Kt = \frac{\pi}{2}$ dans les termes en γ, on aura pour calculer cette durée

$$\cos Kt = -\frac{1}{3}\alpha K^2\gamma$$

d'où

$$t = \frac{\pi}{2} + \frac{1}{3}\alpha K^2\gamma.$$

La résistance augmente donc la durée de la demi-oscillation descendante, comme on devait le prévoir, et diminue par conséquent de la même quantité celle de la demi-oscillation descendante suivante, ce qui est dû à la réduction que subit son amplitude.

10. *Hypothèse des deux résistances réunies.* — Dans ce cas on a

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} = -K^2\left(\theta + \beta + \gamma\frac{d\theta^2}{dt^2}\right),$$

et l'on voit que les résultats auxquels on doit parvenir se déduisent de ceux du numéro précédent, en y changeant respectivement θ et $-\alpha$ en $\theta + \beta$ et $-\alpha + \beta$. Il nous paraît complétement inutile d'écrire les formules résultantes; l'essentiel à constater est que l'isochronisme n'est pas altéré; les amplitudes vont en diminuant suivant une loi dont on trouvera facilement l'expression analytique.

§ III. — De l'influence des chocs dans le mouvement d'un régulateur.

11. Nous avons vu dans le paragraphe précédent que, si les résistances passives n'altèrent pas l'isochronisme des oscillations d'un régulateur, elles en réduisent les amplitudes; de sorte que, au bout d'un certain temps, son mouvement s'anéantirait si l'on n'employait pas une disposition particulière pour compenser la demi-force vive absorbée par ces résistances.

Comme nous l'avons dit au commencement de ce mémoire, on s'arrange de manière que, pendant l'étendue d'une oscillation, le dernier organe du corps de rouages (la roue d'échappement), obéissant à l'action de la force motrice, exerce une percussion sur un appendice faisant corps avec le régulateur; ce qui nous conduit à étudier les effets d'un choc sur le mouvement oscillatoire d'un régulateur.

12. *Hypothèse d'une percussion pendant une oscillation abstraction faite des résistances passives.* — Nous nous bornerons à considérer, comme dans tout ce qui précède, l'oscillation dont l'origine correspond à celle du temps.

Soient :

t' le temps au bout duquel le choc a lieu;

θ', ϖ' les valeurs correspondantes de θ et $\frac{d\theta}{dt}$. On a, comme plus haut,

$$(1)\qquad \begin{cases} \theta' = \alpha \cos K t', \\ \varpi' = \alpha K \sin K t'. \end{cases}$$

L'intégrale de l'équation (1) du n° 7, qui s'applique également dans la période qui suit le choc, est

$$(2)\qquad \theta = M \cos K t + N \sin K t,$$

M et N étant deux constantes arbitraires; d'où

$$(3)\qquad \frac{1}{K}\frac{d\theta}{dt} = -M\sin Kt + N\cos Kt.$$

Or on sait que la durée d'un choc doit être considérée comme nulle ou négligeable; que pendant le choc les positions des éléments matériels des deux corps qui se rencontrent ne changent pas d'une manière appréciable; enfin que, après la percussion, la vitesse du corps choqué, s'il est animé d'un mouvement de translation, ou sa vitesse angulaire, s'il est assujetti à tourner autour d'un axe, est égale à celle qui avait lieu avant le choc, multipliée par un coefficient plus grand que l'unité, et que nous déterminerons plus loin pour chacun des échappements que nous aurons à considérer. Quant à présent, nous nous bornerons à faire remarquer que, pour un même mécanisme, ce coefficient ne dépend que de la position relative des corps lors du choc, de l'énergie de la force motrice ou de la vitesse acquise du régulateur. Or on s'arrange toujours de manière que la position relative des corps reste constamment la même ou à très-peu près. D'autre part, la fusée élimine les variations de la force motrice, ou quand on ne l'emploie pas, l'intensité de cette force varie entre des limites assez resserrées pour que, dans le calcul du coefficient dont il s'agit, elle puisse être considérée comme constante et égale à sa valeur moyenne; enfin, par la force des choses, la vitesse des régulateurs avant le choc ne peut éprouver que de faibles variations; de sorte que, sans grande erreur, on peut considérer ce coefficient comme constant.

Nous devrons donc supposer dans les équations (2) et (3)

$$\theta = \theta', \quad \frac{d\theta}{dt} = (1+\varepsilon)\omega' = (1+\varepsilon)\alpha K \sin Kt' \quad \text{pour } t = t'.$$

ε étant une quantité constante que nous supposerons très-

petite, comme cela a lieu réellement. Nous aurons donc pour déterminer M et N les deux équations

$$-\alpha \cos Kt' = M \cos Kt' + N \sin Kt',$$
$$(1+\varepsilon)\alpha \sin Kt' = -M \sin Kt' + N \sin Kt',$$

d'où

$$M = -\alpha - \alpha\varepsilon \sin^2 Kt',$$
$$N = \varepsilon\alpha \sin Kt' \cos Kt' = -\varepsilon\theta' \sin Kt',$$

et

$$(4) \quad \theta = -(\alpha + \alpha\varepsilon \sin^2 Kt') \cos Kt + \varepsilon\alpha \sin Kt' \cos Kt' \sin Kt.$$

Soit T_1 la durée de l'oscillation ou la première valeur de t qui annule le second membre de l'équation (4), T continuant à désigner la durée $\frac{\pi}{K}$ des oscillations lorsque l'on fait abstraction des résistances positives et des chocs, nous aurons

$$(5) \qquad \operatorname{tang} KT_1 = \frac{N}{M} = \frac{\varepsilon\theta' \sin Kt'}{\alpha(1+\varepsilon \sin^2 Kt')}.$$

Si $\theta' < 0$, on a $KT_1 < \pi$ ou $T_1 < T$,
$\theta' = 0$, $KT_1 = \pi$ $T_1 = T$,
$\theta' > 0$, $KT_1 > \pi$ $T_1 > T$.

En d'autres termes, *le choc diminue ou augmente, ou n'altère pas la durée de l'oscillation, selon qu'il se produit avant ou après le milieu de l'oscillation ou en ce milieu même.*

Si l'on ne conserve que les termes du second terme en ε, l'équation donne (5)

$$\operatorname{tang} KT_1 = \frac{\varepsilon\theta' \sin Kt'(1 - \varepsilon \sin^2 Kt')}{\alpha},$$

d'où

$$(6) \quad \begin{cases} KT_1 = \pi + \dfrac{\varepsilon\theta' \sin Kt'(1 - \varepsilon \sin^2 Kt')}{\alpha} \\ \text{et, } T_1 = T\left(1 + \dfrac{\varepsilon\theta' \sin Kt'(1 - \varepsilon \sin^2 Kt')}{\alpha\pi}\right) \end{cases}$$

Pour mieux voir encore de quelle manière T_1 varie avec θ', bornons-nous à considérer les termes du premier ordre en ε, nous aurons, en ayant égard à la première des équations (1),

$$T_1 = T\left(1 + \frac{\varepsilon\theta' \sin Kt'}{\alpha\pi}\right) = T\left(1 + \frac{\varepsilon}{\pi}\frac{\theta'}{\alpha}\sqrt{1 - \frac{\theta'^2}{\alpha^2}}\right).$$

A l'inspection de cette expression, on voit de suite que le minimum et le maximum de T_1 correspondent respectivement à $\theta' = -\frac{\alpha}{2}\sqrt{2}$, et à $\theta' = +\frac{\alpha}{2}\sqrt{2}$, c'est-à-dire à deux positions du régulateur symétriques par rapport à sa position moyenne, et qu'ils sont compris dans la formule

$$(7) \qquad T_1 = T\left(1 \mp \frac{\varepsilon}{2\pi}\right).$$

Pour trouver l'amplitude α_1 de la durée oscillatoire ascendante, il faudra supposer $t = T_1$, $\theta = \alpha$, dans l'équation (2) qui devient en y remplaçant M et N par leurs valeurs

$$\theta = -(\alpha + \varepsilon \sin^2 Kt') \cos Kt - \varepsilon\theta' \sin Kt' \sin Kt,$$

et l'on trouve en ayant égard à la valeur (5) de KT_1,

$$(8) \qquad \alpha_1 = \alpha + \varepsilon \sin^2 Kt'.$$

L'amplitude de la durée oscillatoire ascendante se trouve donc augmentée, comme cela devait être, puisque jusqu'ici nous avons omis de tenir compte des causes qui motivent les chocs dont nous nous occupons.

Si l'oscillation suivante ne comporte pas de choc (comme dans l'échappement libre à ressort), sa durée sera T, et la différence $T - T_1$ entre les durées de deux oscillations successives ou de deux *battements* consécutifs (*) sera du pre-

(*) Le bruit sec ou battement qui se produit à intervalles égaux dans les chronomètres n'est pas dû aux chocs que nous étudions,

mier ordre; si au contraire elle est accompagnée d'un choc (échappements à ancre et à cylindre), correspondant très-sensiblement aux mêmes valeurs de θ' et ε, la durée T_2 de cette oscillation qui se déduira de la seconde des formules (6) en y remplaçant α par α_1, ne différera de T_1 que d'une quantité de second ordre puisque $\alpha - \alpha_1$ est du premier ordre, et la différence entre les durées de deux battements consécutifs sera du second ordre (*).

13. ***Hypothèse d'un choc et d'une résistance constante.*** — En se reportant au n° 8, on voit sans difficulté que les

---

mais à celui de la roue d'échappement, lorsque après avoir choqué le régulateur, elle vient perdre sa force vive, ainsi que celle de tout le corps de rouage, en venant buter contre l'arrêt qu'on appelle *repos*.

(*) Il ne nous paraît pas sans intérêt d'examiner l'hypothèse de deux chocs pendant une même oscillation, quoiqu'elle ne se présente pas en horlogerie. Soient t'' le temps au bout duquel se produit le nouveau choc; M'', N'' ce que deviennent M et N après ce choc, et admettons que le coefficient ε soit le même pour les deux chocs.

En appliquant le même raisonnement que dans le texte nous aurons

$$M\cos Kt'' + N\sin Kt'' = M'\cos Kt'' + N'\sin Kt''$$
$$(1+\varepsilon)(-M\sin Kt'' + N\cos Kt'') = -M''\sin Kt'' + N''\cos Kt''.$$

En désignant par T'' la durée de l'oscillation, nous aurons, en ayant égard aux valeurs de M et N, à celles que l'on en déduit pour M'' et N'' et négligeant le carré de ε,

$$\tang KT'' = \frac{N''}{M''} = -\varepsilon(\sin Kt'\cos Kt' + \sin Kt''\cos Kt''),$$

d'où

$$T'' = T\left[1 - \frac{\varepsilon}{2\pi}(\sin 2Kt' + \sin 2Kt'')\right].$$

On voit d'après cela que, par le second choc, on peut atténuer l'influence du premier ou la rendre du second ordre; il suffit en effet que les deux chocs aient lieu symétriquement par rapport au milieu de l'oscillation; car alors $Kt' + Kt''$ ne différera de π que d'une quantité de l'ordre ε et par suite $T'' - T$ sera du second ordre.

formules relatives au cas actuel se déduisent de celles du précédent en ajoutant β à θ', $-\alpha$, α_1 et l'on obtient ainsi

$$(9) \quad \begin{cases} \theta' + \beta = -(\alpha - \beta)\cos Kt' \\ T_1 = T\left(1 + \dfrac{\varepsilon(\theta' + \beta)}{\pi(\alpha - \beta)}[1 - \varepsilon \sin^2 Kt'] \sin Kt'\right) \\ \alpha_1 = \alpha - 2\beta + \varepsilon \sin^2 Kt'. \end{cases}$$

Les quantités β et ε doivent être considérées comme étant des grandeurs comparables, et en négligeant les termes du troisième ordre, on obtient d'autres formules plus explicites, mais qui perdent sur les précédentes l'avantage de la simplicité, c'est pourquoi nous ne les écrirons pas. Nous n'avons d'ailleurs rien à ajouter aux observations faites au numéro précédent relativement à l'intervalle compris entre deux battements consécutifs. Nous nous bornerons seulement à faire remarquer que si l'on s'arrange de manière que

$$\frac{2\beta}{\varepsilon} = \sin^2 Kt',$$

l'amplitude des oscillations ne variera pas, et que si chacune des amplitudes est accompagnée d'un choc, d'un côté ou de l'autre, mais à égale distance, de son milieu, leurs durées seront toutes égales, et le chronomètre remplira très sensiblement son but.

14. *Hypothèse d'un choc et d'une résistance proportionnelle au carré de la vitesse.* — La formule (8) du n° 9 donne

$$(10) \quad \begin{cases} \theta_1 = -\dfrac{\alpha^2 K^2 \gamma}{2} - \left(\alpha - \dfrac{2}{3}\alpha^2 K^2 \gamma\right)\cos Kt' - \dfrac{\alpha^2 K^2 \gamma}{6}\cos 2Kt' \\ \dfrac{w'}{K} = -\dfrac{2}{3}\alpha^2 K^2 \gamma \sin Kt' + \dfrac{1}{3}\alpha^2 K^2 \gamma \sin 2Kt' + \alpha \sin Kt'. \end{cases}$$

Un écart quelconque après le choc étant désigné par θ,

il faut que l'on ait pour $t = t'$,

$$\theta = \theta'$$
$$\frac{d\theta}{dt} = w'(1+\varepsilon),$$

ou en posant, comme au n° 9,

$$\theta = \theta_0 + \gamma\theta_1 + \gamma^2\theta_2$$

et identifiant tous les termes semblables en γ

(a) $\theta_0 = -\alpha'\cos Kt'$ $\qquad \frac{1}{K}\frac{d\theta_0}{dt} = -\alpha(1+\varepsilon)\sin Kt'$,

(b) $\theta_1 = \alpha^2 K^2\left(-\frac{1}{2} + \frac{2}{3}\cos Kt' - \frac{1}{6}\cos 2Kt'\right)$, $\qquad \frac{1}{K}\frac{d\theta_1}{dt} =$

$$= (1+\varepsilon)\alpha^2 K^2\left(-\frac{2}{3}\sin Kt' + \frac{1}{3}\sin 2Kt'\right),$$

(c) $\theta_2 = 0$, $\quad \frac{d\theta_2}{dt} = 0$.

Il est évident que θ_0 n'est autre chose que la solution complète du problème dans l'hypothèse de $\gamma = 0$, et que sa valeur est par suite fournie par l'équation (4) du n° 12, qui donne

$$(11) \quad \theta_0 = -\alpha(1+\varepsilon\sin^2 Kt')\cos Kt + \frac{\varepsilon\alpha}{2}\sin 2Kt'\sin Kt.$$

Les conditions (c) jointes à la troisième des équations différentielles (6) du n° 9 donnent $\theta_2 = 0$. Il ne nous reste donc plus qu'à déterminer θ_1 au moyen de la seconde de ces mêmes équations, qui devient, en vertu de la formule (11) et de l'approximation adoptée

$$\frac{d\theta_1}{dt} = -K^2\left\{\theta_1 + \frac{\alpha^2K^2}{2}\left[(1+2\varepsilon\sin^2 Kt') - (1+2\varepsilon\sin^2 Kt')\cos 2Kt + \varepsilon\sin 2Kt'\sin 2Kt\right]\right\}$$

équation dont l'intégrale générale est

$$\theta_1 = \text{M}'\cos \text{K}t + \text{N}'\sin \text{K}t + \frac{\alpha^2\text{K}^2}{2}\left[-(1+2\varepsilon\sin^2\text{K}t') - \left(\frac{1+2\varepsilon\sin^2\text{K}t'}{3}\right)\cos 2\text{K}t + \right.$$
$$\left. + \frac{\varepsilon \sin 2\text{K}t'}{3}\sin 2\text{K}t\right],$$

M′ et N′ étant deux constantes déterminées par les conditions (b), qui donnent

$$\text{M}'\cos \text{K}t' + \text{N}'\sin \text{K}t' = \frac{2}{3}\alpha^2\text{K}^2(\cos \text{K}t' + \varepsilon\sin^2\text{K}t'),$$
$$-\text{M}'\sin \text{K}t' + \text{N}'\cos \text{K}t' = -\frac{2}{3}\alpha^2\text{K}^2\left(\sin \text{K}t' + 2\varepsilon\sin \text{K}t'\sin^2\frac{\text{K}t'}{2}\right);$$

d'où

$$\text{M}' = \frac{2}{3}\alpha^2\text{K}^2(1+\varepsilon\sin^2\text{K}t'),$$
$$\text{N}' = \frac{4}{3}\alpha^2\text{K}^2\sin \text{K}t'\sin^2\frac{\text{K}t'}{2}.$$

et enfin

$$(11)\quad \frac{\theta}{\alpha} = \cos \text{K}t\left(-1+\varepsilon\sin^2\text{K}t' + \frac{2}{3}\alpha\text{K}^2\gamma + \frac{2}{3}\alpha\text{K}^2\gamma\varepsilon\sin^2\text{K}t'\right)$$
$$+ \varepsilon\sin \text{K}t\left(\frac{\sin^2\text{K}t'}{2} + \frac{4}{3}\alpha\text{K}^2\gamma\sin \text{K}t'\sin^2\frac{\text{K}t'}{2}\right)$$
$$- \frac{\alpha\text{K}^2\gamma}{2}(1+2\varepsilon\sin^2\text{K}t') - \frac{\alpha\text{K}^2\gamma}{6}\cos^2\text{K}t'(1+2\varepsilon\sin^2\text{K}t') +$$
$$+ \frac{\varepsilon\alpha\text{K}^2\gamma}{6}\sin 2\text{K}t'\sin 2\text{K}t.$$

On déduit de là

$$(12)\quad \frac{1}{\alpha\text{K}}\frac{d\theta}{dt} = -\sin \text{K}t\left(-1-\varepsilon\sin^2\text{K}t' + \frac{\ }{3}\alpha\text{K}^2\gamma + \frac{2}{3}\alpha\text{K}^2\gamma\varepsilon\sin^2\text{K}t'\right)$$
$$+ \varepsilon\cos \text{K}t\left(\frac{\sin^2\text{K}t'}{2} + \frac{4}{3}\alpha\text{K}^2\gamma\sin \text{K}t'\sin^2\frac{\text{K}t'}{2}\right)$$
$$- \frac{1}{3}\gamma\alpha\text{K}^2\sin 2\text{K}t(1+2\varepsilon\sin^2\text{K}t') + \frac{1}{3}\varepsilon\gamma\alpha\text{K}^2\sin 2\text{K}t'\cos 2\text{K}t.$$

Pour trouver la durée T_1 de l'oscillation ou la première

valeur de t qui annule $\frac{d\theta}{dt}$, nous poserons

$$t = T_1, \quad KT_1 = Kt + x = \pi + x,$$

x étant une quantité du premier ordre, et nous aurons, en continuant l'approximation adoptée

$$x(1 + \varepsilon \sin^2 Kt') = \varepsilon \left(\frac{1}{2} \sin 2Kt' + \frac{4}{3} \alpha K^2 \gamma \sin Kt' \sin^2 \frac{Kt'}{2} + \right.$$
$$\left. + \frac{1}{3} \alpha K^2 \gamma \sin^2 Kt' \right).$$

d'où

$$x = \varepsilon \left(\frac{1}{2} \sin^2 Kt'(1 - \varepsilon \sin^2 Kt') + \frac{2\alpha K^2 \gamma}{3} \sin Kt' \right),$$

et enfin

$$(13) \quad T_1 = T\left[1 + \frac{\varepsilon}{\pi}\left(\sin 2Kt'(1 - \varepsilon \sin^2 Kt') + \frac{2}{3} \alpha K^2 \gamma \sin Kt' \right)\right].$$

A l'examen de cette formule, on voit sans difficulté que la résistance de l'air ne modifie pas les conclusions du n° 12.

Enfin les formules (11) et (13) donnent pour la valeur de la demi-oscillation ascendante suivante α_1,

$$\alpha_1 = \alpha \left(1 + \varepsilon \sin^2 Kt' - \frac{4}{3} \alpha K^2 \gamma - \frac{\varepsilon^2}{4} (\sin^4 Kt' + \sin 2Kt') - \frac{2}{3} \alpha K^2 \gamma \varepsilon \right).$$

Si l'on fait intervenir le choc dans des conditions telles que

$$\varepsilon \sin^2 Kt' = \frac{4}{3} \alpha K^2 \gamma,$$

ce qui sera toujours possible lorsque ε sera supérieur à $\frac{4}{3} \alpha K^2 \gamma$, les amplitudes successives n'éprouveront que des variations du second ordre et par conséquent très-petites.

15. *De l'influence du choc en tenant compte simultanément des deux résistances.* — Les formules relatives à ce

cas général s'obtiendront en retranchant β de θ et $-\alpha$; et comme dans la formule (13), α n'entre que dans un terme du second ordre, il s'ensuit que la résistance constante ne modifie pas la durée de l'oscillation résultant de l'hypothèse d'un choc et de la résistance proportionnelle au carré de la vitesse, du moins en négligeant les termes du troisième ordre.

16. En résumé : 1° la viscosité des huiles ou le frottement dans le cas du pendule à couteau, et la résistance de l'air ne modifient pas la durée des oscillations d'un régulateur, mais réduisent successivement leurs amplitudes.

2° Lorsqu'un choc intervient pendant une oscillation, la durée de son amplitude éprouve des variations du premier et du second ordre, et la variation du premier ordre pour l'amplitude vient plus ou moins en compensation des effets des résistances passives.

3° Si chaque oscillation est accompagnée d'un choc, la différence entre deux battements consécutifs est du second ordre.

4° La suspension à lames du pendule n'altère pas l'isochronisme, mais modifie seulement la longueur du pendule synchrone.

§ IV. — Du pendule conique.

17. Lorsque le pendule simple écarté de la verticale, au lieu d'être abandonné à lui-même sans vitesse initiale, reçoit une impulsion dans le sens horizontal, il décrit une série d'oscillations coniques, et quand l'angle d'écart est suffisamment petit, la durée de chaque révolution est à peu près indépendante de cet angle. Ce nouveau genre d'isochronisme est utilisé pour régulariser le mouvement de certains pendules, qui, il faut l'avouer, sont avant tout des objets de curiosité. Mais comme le pendule simple est irréalisable comme régulateur, on y a substitué un pendule composé

formé d'une tige ayant une masse relativement très-faible terminée par une boule pesante. On comprend que si la tige est suffisamment longue par rapport au diamètre de la bonde, on rentre à très-peu près dans les conditions du pendule simple, et nous allons chercher à voir dans quelles limites il en est ainsi.

18. *Équations du mouvement d'un solide homogène de révolution, pesant autour d'un point fixe situé sur la direction de son axe.*

Soient (*fig.* 2) :

M la masse du corps;

l la distance de son centre de gravité G au point fixe O;

θ l'angle variable déterminé par OG et la verticale OV du point O;

φ l'angle du plan GOV avec un plan vertical fixe passant par le point O;

Ml^2a^2 le moment d'inertie du corps par rapport à une perpendiculaire quelconque élevée en G à GO;

Ml^2b^2 son moment d'inertie autour de GO.

Posons de plus

$$n^2 = \frac{l}{g}(1 + a^2).$$

D'après une propriété connue, le moment d'inertie par rapport à la verticale OV a pour expression :

$$Ml^2\sin^2\theta + Ml^2a^2\sin^2\theta + Ml^2b^2\cos^2\theta = Ml^2[(1 + a^2)\sin^2\theta + \\ + b^2\cos^2\theta].$$

Le principe des aires s'applique évidemment en projection sur un plan horizontal par rapport à son intersection avec OV, et donne

$$Ml^2[(1 + a^2)\sin^2\theta + b^2\cos^2\theta]\frac{d\varphi}{dt} = \text{constante}.$$

On peut représenter la constante du second membre de cette équation par

$$\frac{Ml^2 B\sqrt{2(1+a^2)}}{n},$$

B étant une autre constante dépendant en conditions initiales du mouvement; et l'on a par suite

$$(1) \qquad \frac{dy}{dt} = \frac{B\sqrt{2(1+a^2)}}{N[(1+a^2)\sin^2\theta + b^2\cos^2\theta]}.$$

Le mouvement du corps résulte 1° de la rotation $\frac{d\theta}{dt}$ autour de la perpendiculaire Ox en O au plan GOV; 2° de la rotation $\frac{d\varphi}{dt}$ autour de OV, laquelle se décompose en deux autres, l'un $\frac{d\varphi}{dt}\cos\theta$ autour de OG, l'autre $\frac{d\varphi}{dt}\sin\theta$ autour de la perpendiculaire en O à Oy, comprise dans le plan GOV; et comme OG, Ox, Oy sont des axes principaux d'inertie, la force vive du système sera

$$Ml^2\left[(1+a^2)\left(\frac{d\theta^2}{dt^2} + \frac{d\varphi^2}{dt^2}\sin^2\theta\right) + b^2\frac{d\varphi^2}{dt^2}\cos^2\theta\right];$$

Le travail de la pesanteur est d'ailleurs de la forme

$$Mgl(\cos\theta + A) = \frac{Ml^2(1+a^2)}{n^2}(\cos\theta + A),$$

en désignant par A une autre constante dépendant également des conditions initiales du mouvement; il vient donc

$$(2) \quad (1+a^2)\left(\frac{d\theta^2}{dt^2} + \frac{d\varphi^2}{dt^2}\sin^2\theta\right) + b^2\cos^2\theta\frac{d\varphi^2}{dt^2} = \frac{2(1+a^2)}{N^2}(\cos\theta + A).$$

En éliminant φ entre les équations (1) et (2), on pourra

exprimer t par une transcendante fonction de θ. Mais la solution du problème, ainsi considéré à un point de vue général, ne peut nous être d'aucune utilité au point de vue chronométrique, et nous nous bornerons à considérer le cas où le pendule se compose d'une sphère massive reliée au point fixe par une tige d'une assez faible masse, pour que l'on puisse en faire abstraction; ce qui nous conduit à supposer $a = b$.

19. *Du pendule à boule.* — Dans l'hypothèse actuelle, les formules (1) et (2) deviennent

$$\frac{d\varphi}{dt} = \frac{B\sqrt{2(1+a^2)}}{n(\sin^2\theta + a^2)}, \tag{3}$$

$$\frac{d\theta^2}{dt^2} + \frac{d\varphi^2}{dt^2}\left(\frac{\sin^2\theta + a^2}{1+a^2}\right) = \frac{2}{n^2}(\cos\theta + A), \tag{4}$$

d'où par l'élimination de $\frac{d\varphi}{dt}$,

$$dt = \frac{n}{\sqrt{2}} \frac{\sqrt{\sin^2\theta + a^2}\,d\theta}{\sqrt{-\cos^3\theta - A\cos^2\theta + (a^2+1)\cos\theta + A(1+a^2) - B^2}}. \tag{5}$$

L'équation

$$\cos^3\theta + A\cos^2\theta - (a^2+1)\cos\theta - A(1+a^2) + B^2 = 0, \tag{6}$$

a au moins une racine réelle qui est un maximum ou un minimum de θ. Or, par la nature de la question, s'il y a un maximum, il y a nécessairement un minimum, et par conséquent cette équation a deux et par suite trois racines réelles. Soient α et β le maximum et le minimum de θ, la somme des produits deux à deux en trois racines étant égale à $-(1+a^2)$, la troisième a pour valeur

$$-\left(\frac{1 + a^2 + \cos\alpha\cos\beta}{\cos\alpha + \cos\beta}\right).$$

et la formule (5) peut se mettre sous la forme

$$(7)\quad dt = \frac{n}{\sqrt{2}} \frac{\sqrt{\sin^2\theta + a^2}\,.\,d\theta}{\sqrt{-(\cos\theta - \cos\alpha)(\cos\theta - \cos\beta)\left(\cos\theta + \dfrac{1 + a^2 + \cos\alpha\cos\beta}{\cos\alpha + \cos\beta}\right)}}.$$

Si l'on substitue à θ la variable σ définie par la relation

$$(8)\qquad \cos\theta = \cos\alpha\sin^2\sigma + \cos\beta\cos^2\sigma,$$

les maxima de θ correspondront aux multiples pairs et les minima aux multiples impairs de $\frac{\pi}{2}$, et l'expression ci-dessus deviendra

$$(8)\quad dt = 2n \frac{\sqrt{1 + \dfrac{a^2}{\sin^2\theta}}(\cos\alpha + \cos\beta)d\sigma}{\sqrt{\cos^2\alpha + \cos^2\beta + 4\cos\alpha\cos\beta + 2(1 + a^2) + (\cos^2\beta - \cos^2 a)\cos 2\sigma}}.$$

Avant d'aller plus loin, nous remarquerons que dans les applications 1° les angles α et β sont assez petits pour que l'on puisse en négliger les puissances supérieures à la seconde; 2° en supposant la sphère homogène, le rapport a^2 est égal au cinquième du carré de la tangente de l'angle formé par la droite GO, avec une tangente à la sphère partant du point de suspension, angle que l'on s'arrange de manière à rendre beaucoup plus petit que θ; de sorte que nous pouvons sans grande erreur ne conserver que les termes du second ordre en $\frac{a^2}{\sin^2\theta} = \frac{a^2}{\theta^2}$; ce qui revient à supposer que a^2 est du troisième ordre, et que l'on peut le négliger devant l'unité. L'équation (8) devient alors

$$dt = n\left[1 + \frac{1}{16}(\alpha^2 + \beta^2) + \frac{1}{32}(\alpha^2 + \beta^2)\cos 2\sigma\right]\left[1 + \frac{1}{2}\frac{a^2}{\alpha^2\cos^2\sigma + \beta^2\sin^2\sigma} - \frac{1}{8}\frac{a^4}{(\alpha\cos^2\sigma + \beta^2\sin^2\sigma)^2}\right]d\sigma.$$

Pour trouver la durée τ qui sépare deux positions successives du pendule correspondant respectivement à un maximum et à un minimum de θ, il faut intégrer l'équation précédente entre les limites $\sigma = 0$, $\sigma = \frac{\pi}{2}$, et l'on trouve, en continuant l'approximation adoptée,

$$\tau = \frac{\pi}{2}\sqrt{\frac{l}{g}}\left[1 + \frac{a^2}{2\alpha\beta} + \frac{1}{16}(\alpha^2 + \beta^2)\right].$$

Le temps T correspondant au passage d'un maximum au suivant, égal à 2τ, aura par suite pour expression :

$$(9) \qquad T = \pi\sqrt{\frac{l}{g}}\left[1 + \frac{a^2}{2\alpha\beta} + \frac{1}{16}(\alpha^2 + \beta^2)\right].$$

Si le diamètre de la boule est assez petit pour que l'on puisse supposer a^2 nul, on tombe sur le cas du pendule simple, et l'on a

$$T = \pi\sqrt{\frac{l}{g}}\left(1 + \frac{\alpha^2 + \beta^2}{16}\right).$$

Si, de plus, les angles α et β sont assez petits pour que l'on puisse en négliger les secondes puissances, la durée T sera la même que pour une oscillation pleine du pendule.

Pour un même angle d'écart maximum α, l'isochronisme du pendule conique sera moins satisfaisant que s'il exécutait des oscillations planes, ou si $\beta = 0$. Et pour être sûr d'obtenir la même approximation dans les deux cas, il faudra faire en sorte que dans le premier l'écart maximum soit égal à celui qui est relatif au second multiplié par $\frac{1}{\sqrt{2}}$.

En revenant à la réalité et au pendule à boule, on voit par la forme de l'expression (9) combien l'isochronisme des révolutions laisse à désirer, et combien il convient de donner la préférence au pendule composé, oscillant autour d'un axe horizontal.

Pour trouver l'angle φ, il suffira d'éliminer *dt* entre les formules (3) et (8) ; sans entrer dans le détail de calcul, nous rappellerons que, dans le cas du pendule conique simple, l'angle azimuthal correspondant au passage d'un maximum ou minimum suivant est (*)

$$\varphi = \frac{\pi}{2}\left(1 + \frac{3\alpha\beta}{8}\right),$$

et l'on voit ainsi que chaque sommet de la couche décrite se déplace, dans le sens du mouvement, d'une révolution à la suivante, d'un angle égal à $\frac{3}{4}\pi\alpha\beta$. On comprend de cette manière comment, après un certain nombre de révolutions, l'orientation des sommets puisse être complétement changée, ainsi que cela résulte de l'observation.

20. Quant au mode de suspension à lames employé pour réaliser le pendule conique, et à son influence sur le mouvement, nous renverrons au mémoire que nous avons publié sur ce sujet dans le tome XV des *Annales des mines*.

21. Nous ne ferons que mentionner ici le régulateur à ailettes employé dans les sonneries des chronomètres, et dont la théorie est facile. Le régulateur offre l'inconvénient d'absorber un travail moteur considérable, comparativement au résultat que l'on veut obtenir, et d'acquérir une vitesse qui dépend de l'intensité de la force motrice ; mais cet inconvénient n'est pas sérieux pour les sonneries qui ne fonctionnent en totalité dans une journée que pendant un temps très-restreint et pour lesquelles une grande régularité de mouvement n'est pas de première nécessité, nous avons d'ailleurs donné, dans une note correspondant au n° 2, la formule qu'il convient d'employer pour représenter la résistance de l'air sur les ailettes.

(*) Voyez mon *Traité de cinématique pure*, note 1.

NOTICE

SUR LE TERRAIN A COMBUSTIBLE DE LA LOIRE-INFÉRIEURE.

Par M. E. LORIEUX, ingénieur des mines.

Étude sur le terrain à combustibles de la Loire-Inférieure. — Préliminaires.— Carte géologique du terrain dévonien de la Loire-Inférieure.

La circulaire ministérielle du 7 juin 1866 avait invité les ingénieurs des mines à préparer des collections composées de manière à mettre sous les yeux du public, à l'Exposition universelle, les ressources minérales de toute nature qui forment une partie importante de la richesse de la France. Ces collections, pour être admises à figurer à l'Exposition, devaient être accompagnées d'un travail topographique d'ensemble sur le terrain houiller dont elles reproduisaient les divers éléments.

J'ai pensé à cette occasion qu'il serait intéressant de présenter, par des coupes transversales détaillées, le nombre et la succession des veines de houille du terrain à combustible de la Loire-Inférieure, que les recherches de ces dernières années ont fait beaucoup mieux connaître depuis la note insérée au mois de décembre 1843 par M. Viquesnel, dans le *Bulletin de la Société géologique de France.* J'ai été induit à prolonger ces coupes transversales jusqu'à la base de la formation, et à en tirer parti pour la confection d'une carte géologique du terrain dévonien de la Loire-Inférieure. Cette carte manuscrite, dressée avec le concours de M. le garde-mines Wolski, figure à l'Exposition universelle.

Résultat pratique obtenu par l'étude générale du terrain à combustible.

Mais l'étude générale de la formation houillère a eu un autre résultat plus important au point de vue pratique et industriel. La comparaison de la coupe transversale passant par la mine de Montrelais, qui se trouve reproduite à la suite de la présente notice, et des coupes du terrain à combustible de Maine-et-Loire exécutées d'abord à la mine de la Haye-Longue, par M. Rolland, puis aux mines de Chalonnes, par M. Fagès, et dont la dernière figure également à l'Exposition universelle, a permis d'établir, au moins pour certaines veines, la correspondance des veines similaires des deux départements ; elle a démontré que le prolongement des plus belles veines de Maine-et-Loire, celle du Roc et du Vouzeau, devait se retrouver à Montrelais dans une bande de terrain réputée jusque-là stérile, et elle a conduit M. Besset, directeur des mines de Montrelais, à des découvertes qui, suivant toute apparence, seront très-importantes au point de vue de l'avenir de l'exploitation.

Constitution générale du terrain dévonien comprenant le terrain à combustible.

Le terrain à combustible de la Basse-Loire forme une bande de 100 kilomètres environ de longueur sur une largeur variant de 0 à 2 kilomètres et suivant une direction de ouest 18° nord. Il est compris dans la Loire-Inférieure sur un peu moins de la moitié de son développement. Il est limité au sud et au nord par des grès argileux verts ou rougeâtres, tantôt compactes et tantôt schisteux, qui ressemblent, malgré la différence de leurs niveaux géologiques, aux grauwackes des bords du Rhin. Au delà de ces grès argileux ou grauwackes, on rencontre des schistes argileux qui sont tantôt très-durs et à feuillets très-ondulés, tantôt doux au toucher et très-altérables à l'air, et qui passent par des degrés insensibles de métamorphisme aux micaschistes appuyés sur le terrain granitique.

Schistes argileux : Trois niveaux appartenant aux étages inférieur, moyen et à la base de l'étage supérieur du terrain dévonien.

M. le docteur Bureau, dans une note insérée à la page 789 du tome XVII du *Bulletin de la Société géologique de France*, a distingué trois niveaux de schistes argileux : le premier, qui repose sur le terrain métamorphique, avec ou sans l'intermédiaire de quartzites intercalés, renferme les calcaires saccharoïdes de Bouzillé, de Liré et des Brûlis, et appartient par ses fossiles, tels que le Pleurodyctium Problematicum, le Leptæna Depressa, etc., à l'étage inférieur du système dévonien; le second, qui contient le calcaire schisteux noir de l'Écochère, se rattache à l'étage moyen par ses fossiles, entre autres par le Strigocephalus Burtini; enfin, le troisième semble appartenir à la base de l'étage supérieur d'après les nombreuses coquilles bivalves lisses qui y ont été trouvées en grand nombre dans le voisinage de la Loire.

Grès argileux appartenant, ainsi que le terrain à combustible, à l'étage supérieur du terrain dévonien.

Le grès argileux est en stratification concordante et alterne plusieurs fois, d'une part, avec les schistes argileux supérieurs; d'autre part, avec les schistes et grès du terrain à combustible. Ce dernier fait se produit notamment aux mines de Mouzeil où un banc puissant de grès argileux divise en deux branches à peu près égales la formation houillère. De plus, ainsi que l'a fait observer M. le docteur Bureau, les fossiles du dépôt houiller sont les mêmes que ceux du grès argileux où le calcaire de Copchoux se trouve intercalé en stratification concordante et renferme des espèces caractéristiques du terrain dévonien supérieur, telles que la Terebratula Cuboïdes, la Terebratula Pugnus, etc...; enfin, la flore du terrain à combustible diffère sensiblement de celle du terrain houiller propre-

ment dit par la présence de troncs analogues au Segenaria Weltheimiana, par l'abondance des fougères du genre Sphenopteris et la rareté des Nevropteris et des Pecopteris. Ces observations placent le terrain à combustible de la Basse-Loire à l'étage supérieur du terrain dévonien, et tranchent une question qui a donné lieu à de nombreuses controverses.

Forme lenticulaire du terrain à combustible.

Il n'a pas encore été possible aux mines de Mouzeil, des Touches et de Languin, où le terrain à combustible est fréquemment recouvert sur une épaisseur de plusieurs mètres par des sables tertiaires et où les recherches souterraines ont été jusqu'ici très-circonscrites, de faire une étude complète de la succession des veines et des roches qui les séparent. Mais on sait d'une manière générale que les poudingues et les grès tendent à disparaître à mesure qu'on s'avance vers l'ouest; que le grès caractéristique, désigné sous le nom de *pierre carrée*, et très-puissant à Montrelais, est une exception à Mouzeil et ne se retrouve nulle part à Languin; que le terrain à combustible devient de plus en plus schisteux et qu'il s'amincit à mesure qu'il approche de sa limite occidentale.

Redressement, dislocation et plissement des veines sous l'effort de l'éruption des porphyres quartzifères et des amphibolites. — Les mêmes veines ne semblent pas avoir été repliées sur elles-mêmes de manière à présenter plusieurs affleurements à la surface.

La bande de terrain carbonifère présente de grands intervalles stériles, des rétrécissements, des épanchements et des plissements qui trouvent leur explication dans les éruptions de porphyres quartzifères et d'amphibolites dont les massifs sur un grand nombre de points sont venus affleurer jusqu'à la surface. Tout le terrain à combustible et les terrains encaissants ont été redressés presque verticalement

sous l'effort des masses éruptives. Les veines de houille ont une inclinaison à peu près constante de 80 degrés jusqu'à la profondeur de 300 mètres explorée par les travaux. La réapparition dans le même ordre, au nord du terrain à combustible, des poudingues de la base et des mêmes bancs de grès et de schiste argileux avait conduit naturellement à supposer que les veines de houille se repliaient plusieurs fois sur elles-mêmes et s'appliquaient sur les rides bien connues, entre Rennes et Nantes, des terrains de transition. Mais cette ingénieuse théorie ne s'est pas trouvée confirmée par les travaux d'approfondissement; les bancs de poudingue successifs que l'on rencontre en marchant du sud au nord sont composés d'éléments de plus en plus petits, et les systèmes successifs de veines paraissent être parfaitement distincts. Si les veines ont subi des plissements dans la profondeur, il ne semble pas que les branches repliées soient revenues affleurer jusqu'à la surface, sauf en ce qui concerne les poudingues de la base.

Poudingue grossier à la base du terrain à combustible.

A la base de la formation houillère se trouve un poudingue grossier composé de galets de grès argileux, de quartz hyalin laiteux, de quartz noir, de schiste noir micacé et de schiste verdâtre probablement serpentineux. Ce poudingue, très-développé au sud des mines de Montrelais, y reparaît en bande étroite au nord de la formation. dis-paraît aux mines de Mouzeil et des Touches où les grès et les schistes houillers sont en contact immédiat avec le grès argileux, et à la mine de Languin où ils s'appuient directement sur les schistes métamorphiques et les gneiss.

Bancs de grès argileux intercalés dans le poudingue de la base. — Poudingue avec alternance de schistes bruns argileux. — Poudingue à noyaux feldspathiques de la grosseur d'une noix. — Alternance de grès argileux verdâtre et de schistes argileux parfois rubannés passant par diverses nuances du

brun foncé au vert clair. — Banc de poudingue à noyaux quartzeux à ciment siliceux coloré par l'oxyde de fer. — Premières veinules de houille.

Le bourg de Montrelais est situé, à la limite sud, sur le poudingue à gros éléments de la base, dont la bande présente dans cette région sa largeur à peu près maximum de 2,000 mètres, avec quelques bancs intercalés de grès argileux à structure schisteuse. Puis on rencontre, en se dirigeant vers le nord, après un banc de grès argileux compacte et verdâtre de 40 à 50 mètres de puissance, un poudingue de puissance à peu près égale à éléments un peu moins grossiers que celui de la base et alternant avec des schistes bruns argileux dont on traverse au nord une bande de 100 à 150 mètres. A ces schistes succède, sur 600 mètres environ de largeur, un troisième poudingue à éléments de la grosseur d'une noix composés de noyaux de grès feldspathique qui s'étendent jusque sous le village des Tupinières, puis, sur un peu plus de 1 kilomètre, une alternance de bancs de grès micacé argileux verdâtre, tantôt schisteux, tantôt compacte, et de schistes argileux parfois rubannés passant par diverses nuances du brun foncé au vert clair. Après un banc de poudingue intercalé de 50 mètres de puissance, dont la roche amygdaloïde se compose de noyaux de quartz avec ciment siliceux fortement coloré en rouge par l'oxyde de fer, on arrive à une succession de grès et de schistes micacés noirs qui contiennent les deux premières veinules un peu régulières de charbon, et qui se trouvent au sud du puits Saint-Joseph.

Poudingue du puits Saint-Joseph.

On a rencontré par ce puits un banc de poudingues à gros noyaux quartzeux blancs, très-compacte, très-sonore et très-dur, auquel succèdent immédiatement des grès schisteux noirs très-micacés à empreintes végétales, d'une puissance d'environ 100 mètres, qui renferment les veines

des Berthauderies. La veine de machine, au nord de ce système, se trouve intercalée dans des poudingues intermédiaires qui peuvent être regardés comme formant deux bancs distincts. Puis on rencontre un banc très-puissant et très-régulier de la roche caractéristique connue sous le nom de *pierre carrée* et qui renferme, dans le département de Maine-et-Loire, les plus importantes veines intermédiaires.

Pierre carrée.

La pierre carrée est ainsi nommée parce qu'elle présente trois clivages sensiblement rectangulaires; c'est un grès feldspathique, à grains fins, d'un gris jaunâtre ou verdâtre, très-homogène et très-compacte, mais d'une faible dureté. Elle présente une stratification très-régulière et renferme beaucoup d'empreintes végétales et même des troncs d'arbres, ce qui met hors de doute son origine sédimentaire.

Grès noirs à grains feldspathiques. — Schistes noirs micacés alternant avec des grès blancs compactes. — Système des Petits-Bois.

Au nord du banc de pierre carrée, qui a environ 80 mètres de puissance, on rencontre, après des grès noirs à grains feldspathiques blancs et un banc de schistes noirs très-micacés, une formation de 250 mètres environ de puissance, composée d'une alternance de schistes noirs micacés et de grès d'un blanc laiteux, à grains fins très-compactes, les seuls du terrain à combustible qui ne se délitent pas facilement à l'air et qui donnent de bonnes pierres à bâtir. Le système des Petits-Bois comprenant la veine des Petits-Bois et la veine Saint-Ange se trouve séparé de ces grès par un banc de grès feldspathique à noyaux quartzeux allongés, formant brèche. Il se compose d'une alternance de grès et schistes noirâtres avec bancs de pierre carrée intercalés.

Formation de grès et schistes à texture fine et à empreintes. — Système de la Grande-Veine, de la veine de la Taupe et de la veine des Plantes.

En s'avançant toujours vers le nord, on rencontre, sur 300 mètres environ de puissance, une formation composée d'une alternance de grès et schistes à texture très-fine et à empreintes, renfermant des veinules de houille inexploitables, que l'on est tenté d'assimiler au système du Bel-Air de Chalonnes; puis un banc de poudingue à petits noyaux blancs qui sert de base au système de la grande veine, de la veine de la Taupe et de la veine des Plantes. Les schistes et grès jaunâtres et micacés à grains fins, d'une puissance totale de 170 mètres, qui comprennent ces trois veines, sont assez analogues à ceux qui renferment à la Haye longue la petite veine, la grande veine et la veine du Pâti.

Système des Pelleras.

Enfin, après un banc de poudingues à petits éléments quartzeux, on rencontre d'abord une veinule inexploitée, puis les veines n°s 2 et 1 des Pelleras, qui sont séparées par des grès à grains fins et des schistes très-micacés noirâtres. Ces veines, les dernières au nord de la formation carbonifère, doivent assez naturellement être assimilées à celles du système des Essarts des mines de la Haye longue. Cependant, le poudingue qui se trouve à la base de ce dernier système est à éléments beaucoup plus grossiers que celui de la base du système des Pelleras.

Insuffisance des données actuelles pour établir une correspondance complète entre les veines de Maine-et-Loire et de la Loire-Inférieure.

Il est très-difficile d'établir d'une manière certaine la correspondance complète des veines de houille de Chalonnes avec celles de Montrelais. Ce travail n'a même pas encore été fait pour les mines peu distantes entre elles, de la Haye-Longue, de Chalonnes et de Montjean, encore moins pour

les mines plus éloignées de Saint-Georges Chatelaison et de Saint-Lambert.

Les terrains sont la plupart du temps recouverts par la végétation, et, pour apercevoir les roches à nu, on est souvent réduit aux fossés des chemins; les propriétaires ne se prêtent pas volontiers à laisser exécuter des tranchées d'exploration. L'état actuel des recherches ne permet d'établir de correspondance à peu près certaine qu'entre le système des Berthauderies de Montrelais et celui du Bocage de Chalonnes, entre le système des petits-bois de Montrelais et celui des Noulis, des mines de Maine-et-Loire. Toutes les autres assimilations ne doivent être considérées que comme des hypothèses assez probables, mais qui n'ont pu encore être confirmées par des observations suffisantes.

Correspondance du système des Berthauderies de Montrelais avec le système du Bocage de Chalonnes.

A Chalonnes, au nord des poudingues à gros éléments de la base, après les grès et schistes noirs à empreintes qui renferment la veine de la Richardière et les deux veines du Poirier, et un banc très-compacte de poudingues, on rencontre des schistes et grès schisteux noirs qui contiennent les trois veines puissantes et irrégulières connues sous le nom de veines du Bocage, puis un banc de poudingues à noyaux quartzeux et une petite veine qui n'est pas exploitée aux mines de la Haye-Longue et du Désert. A Montrelais, au nord des poudingues à gros éléments qui se trouvent très-développés à la base de la formation carbonifère, après des grès et schistes noirs à empreintes renfermant des veinules inexplorées qui peuvent être rapportées à celles du Poirier, on rencontre des schistes et grès schisteux qui contiennent les trois veines puissantes et irrégulières connues sous le nom de veines nos 1, 2 et 3 des Berthauderies, puis un banc de poudingues à gros noyaux quartzeux renfermant une petite veine peu puissante qui est exploitée

sous le nom de veine de machine. On a distingué parfois, entre les veines nos 1 et 2 des Berthauderies, une petite veine intermédiaire désignée sous le nom de Pécaille; mais la discontinuité de cette veine, qui est sans cesse enchevêtrée avec les trois autres, n'autorise nullement à la considérer comme une veine distincte.

Correspondance du système des Petits-Bois de Montrelais avec le système des Noulis de Chalonnes.

Aux mines de Maine-et-Loire, en continuant vers le nord, on traverse une formation puissante de pierre carrée qui contient l'une des veines les plus importantes par sa puissance et sa pureté, la veine dite « du Roc » à Chalonnes, « Goismard » à la Haye-Longue et « des Cassis » à Montjean, très-souvent divisée en deux veines distinctes par un banc schisteux de faible épaisseur, puis on rencontre trois petites veines, puis l'importante veine du Vouzeau à laquelle succèdent encore trois veinules, puis le système des Noulis. Ce dernier système offre une grande analogie et semble correspondre avec le système des petits bois de Montrelais. En effet, dans l'un et l'autre système, la base est formée par un poudingue grossier à noyaux quartzeux auquel succède une alternance de grès à grains fins et de grès schisteux micacés et jaunâtres, puis un banc de pierre carrée en relation avec la veine des Noulis à Chalonnes et à Montrelais, avec celle des Petits-Bois. La veine Saint-Ange, qui a été en général peu exploitable, correspondrait ainsi avec la veine peu exploitable de la Portinière et une veinule, inexploitée à Montrelais, avec la petite veine de la maison des Noulis.

Découverte, à Montrelais, du prolongement des veines intermédiaires de Chalonnes dans une bande de terrain réputée jusqu'à ces derniers temps complétement stérile.

Le système des Berthauderies et le système des Petits-Bois étaient séparés à Montrelais par une large bande de

terrain que jusqu'à ces temps derniers on avait toujours considérée comme complétement stérile, et qui d'après les idées exposées tout à l'heure, devait renfermer le prolongement des importantes veines du Roc et du Vouzeau. M. le directeur Besset, d'après ces idées théoriques, confirmées par ses observations personnelles, n'a pas hésité à entreprendre des travaux d'exploration, et a en effet reconnu par des tranchées à la surface, d'abord un banc très-régulier de pierre carrée semblable à celui qui accompagne la veine du Roc, puis deux beaux affleurements de houille séparés par un faible intervalle. Il a fait diriger aussitôt vers le nord, au niveau de 80 mètres du puits Saint-Joseph, une galerie à travers bancs qui, après un parcours de 110 à 120 mètres, atteindra la veine présumée du Roc et qui sera immédiatement prolongée jusqu'à la rencontre des veines du système du Vouzeau.

Le tableau ci-dessous indique les veines de combustible qui ont été reconnues jusqu'à ce jour aux mines de Montrelais, de Mouzeil, des Touches, de Languin, et leur correspondance probable, autant qu'elle peut être présumée dans l'état actuel des explorations :

MINE de Languin.	MINE des Touches.	MINE de Mouzeil.	MINE de Montrelais.
			Banc de poudingues de la base. Veine des Pelleras n° 1. Veine des Pelleras n° 2. Veinule inexploitée.
	Veine n° 1 } de la Croix- Veine n° 2 } Perrine.	Veines exploitées autrefois sans suite et aujourd'hui abandonnées.	*Banc de poudingues.* Veine des Plantes n° 1. Veine des Plantes n° 2. Veine la Taupe. Grande-Veine.
Veines inexplorées recouvertes par les morts terrains.	Veine du Nord. . Veine du Sud. .	*Banc de grauwacke.* Veine du Nord. . . . . . Veine du Puits-Saint-Georges.	*Banc de poudingues.* Veine Saint-Ange. Veine des Petits-Bois.
		Grande veine. Veine du Centre. } (Veines Vouzeau?) Veine du Sud. Veine du Mur. } (Veines du Roc?)	*Grès feldspathique à noyaux quartzeux formant brèche.* Veines récemment découvertes dans la principale formation de pierre carrée.
	Veines inexplorées.		*Banc de poudingues.* Veine de Machine.
Veine du Nord. Veine du Centre. Veine du Sud.		Veine découverte en 1867 par une galerie à travers bancs.	*Banc de poudingues.* Veine des Berthauderies n° 1. Veine des Berthauderies n° 2. Veine des Berthauderies n° 3.
Terrains primitifs.		Veinules reconnues aux affleurements.	*Banc de poudingues.* Veinules inexploitées. *Banc de poudingues de la base.*

Veines de houille de Montrelais.

Les deux veines des Pelleras sont irrégulières ; elles ont été productives seulement dans quelques épanchements où

leur puissance atteignait de 1m,50 à 3 mètres et sont pour le moment inexploitées. La veine des Plantes, séparée en deux par un banc de grès de 1 à 4 mètres d'épaisseur, a donné de la houille maigre sur 1m,50 de puissance moyenne dans la branche nord, et dans la branche sud, avec une puissance d'environ 0m,40, du charbon dur et collant, assez pur et d'un bon emploi pour la forge. La veine de la Taupe s'est montrée fort irrégulière et très-peu productive dans les anciennes exploitations. La Grand'-Veine, qui a été autrefois exploitée à la Grand'-Mine, est la meilleure de la concession; elle a 1m,50 de puissance moyenne, atteint souvent 4 mètres, est assez pure et donne de bon charbon de forge; parfois elle contient des schistes plats dont on la débarrasse aisément avec un simple criblage. La veine Saint-Ange est très-irrégulière et peu exploitable. La veine des Petits-Bois, qui a été exploitée à la Peignerie, avec une puissance moyenne d'environ 0m,70, a donné du charbon de forge de qualité supérieure contenant de 9 à 10 p. 100 de cendres. La veine de Machine, qui est exploitée au centre actuel des Berthauderies, avec une puissance moyenne de 0m,70, produit un charbon carré, dur, analogue à la houille de Cardiff, très-convenable pour le chauffage des chaudières. La veine n° 1 des Berthaudières est la plus irrégulière, mais peut-être aussi la plus riche de la concession; sa puissance, qui est en moyenne de 2 mètres, dépasse souvent 6 à 7 mètres et atteint parfois 10 mètres. La veine n° 2 a fréquemment 2 ou 3 mètres de puissance; elle donne du charbon carré, sec et flambant, avec beaucoup de gros; elle est caractérisée par des nerfs de grès ferrugineux très-dense et très-compacte, et ne contient pas moins de 15 à 20 p. 100 de cendres. La veine n° 3 donne un charbon un peu plus pur, sec et léger, mais très-friable. Ces quatre dernières veines sont les seules qui soient actuellement exploitées à Montrelais.

Veines exploitées à Mouzeil. — Correspondance probable des veines du Sud et du Mur avec celles du Roc de Chalonnes et découverte amenée par cette hypothèse.

Les veines de houille sont encore mal connues aux mines de Mouzeil, des Touches et de Languin. A Mouzeil, la Grand'-Veine, les veines du Centre, du Sud et du Mur, sont seules exploitées par les puits Neuf et Préjean qui sont parvenus jusqu'à la profondeur de 280 mètres. Elles présentent, avec une assez grande régularité, des puissances moyennes de $1^m,40$, $0^m,70$, $0^m,60$ et $0^m,35$. Le charbon de la Grand'-Veine peut être employé pour la forge, celui de la veine du Mur pour les machines, celui des veines du Centre et du Sud est exclusivement consommé par les fours à chaux. Les veines du Sud et du Mur sont séparées par un banc de faible épaisseur et se confondent fréquemment en une seule; leur mur est formé par un banc puissant de grès micacé compacte qui, sans présenter les caractères métamorphiques de la pierre carrée, peut avec quelque vraisemblance être considéré comme son prolongement. D'après ces observations, les veines du Sud et du Mur se rapporteraient à la veine du Roc-de-Chalonnes, qui se divise aussi très-fréquemment en deux branches et qui a pour mur un banc puissant de pierre carrée. Une induction toute naturelle a déterminé les exploitants à rechercher vers le sud, par une galerie à travers bancs, les veines exploitées à Montrelais, et cette galerie vient, en effet, de recouper une veine qui semble se présenter dans d'assez bonnes conditions; la galerie est actuellement prolongée à la recherche des autres veines, et pourra donner, dans le cours de l'année prochaine, la confirmation des idées théoriques qui ont fait entreprendre son percement.

Veine unique exploitée aux Touches. — La grande veine de Mouzeil passe probablement au sud de la veine exploitée aux Touches.

Aux Touches, la veine dite du Sud, qu'il ne faut pas confondre avec la veine qui porte à Mouzeil le même nom, est seule exploitée par un puits unique de 195 mètres de profondeur. Elle est très-irrégulière, de puissance très-variable et se divise parfois en trois ou quatre embranchements. Elle donne du charbon plus flambant que celui de Mouzeil, contenant environ 15 p. 100 de cendres, et destiné ordinairement à la cuisson de la chaux, mais qui, sous forme de mélange avec la houille anglaise, a pu être employé à la fabrication du coke. Des affleurements de houille ont été reconnus au nord et au sud de la veine exploitée, mais les explorations sont trop incomplètes pour qu'on puisse établir leur correspondance avec les veines de Mouzeil. Il paraît toutefois probable, d'après son prolongement en direction, que la grande veine de Mouzeil doit passer au sud de l'exploitation actuelle des Touches.

Veines du système du Sud exploitées à Languin. — Houilles plus grasses à mesure qu'on s'avance de l'ouest vers l'est et du sud vers le nord de la formation carbonifère.

La mine de Languin n'a donné lieu qu'à l'exploitation des veines les plus méridionales, qui portent le nom de veines du Nord, du Centre et du Sud, et qui présentent beaucoup d'analogie avec les trois veines des Berthauderies de Montrelais. Au nord de ces veines, on n'a fait que constater l'existence d'un certain nombre d'affleurements recouverts, sur quelques mètres d'épaisseur, par les terrains tertiaires. Du côté du sud, la dernière veine se trouve dans le voisinage des schistes micacés et des gneiss. La houille y est sensiblement plus grasse qu'à l'est de la formation; il semble qu'elle le devient de plus en plus dans les mêmes veines à mesure qu'on s'avance vers l'ouest, comme aussi à mesure qu'on passe d'une veine à l'autre en marchant du

sud vers le nord. Les exploitants, qui, en raison de la friabilité et de l'impureté de la houille, avaient beaucoup de peine à en trouver le placement, ont essayé de l'utiliser pour la fabrication du coke dans des fours du système Appolt; mais la qualité du coke était médiocre et le prix de revient excédait le prix de vente. Les essais de fabrication de briquettes n'ont pas été beaucoup plus heureux. Il est permis de supposer que l'exploitation pourrait être reprise et se soutenir, si elle était combinée avec un lavage de houille et une fabrication de briquettes installés dans des conditions plus économiques. Toutefois, l'irrégularité des veines qui présentent la structure en chapelet, la nature ébouleuse des terrains, l'abondance des eaux qui pénètrent facilement dans la profondeur par de nombreuses fissures, l'impureté et la friabilité de la houille, suffisent pour justifier le découragement qui s'est emparé des derniers exploitants et qui a déterminé l'abandon de la mine au 1[er] octobre 1863.

Extraction actuelle. — Développement possible de la production.

L'extraction actuelle des mines de la Loire-Inférieure est de 20.000 quintaux métriques aux Touches, de 120.000 quintaux métriques à Mouzeil et de 130.000 quintaux métriques à Montrelais. Si les débouchés ne faisaient défaut, elle pourrait être facilement élevée, pour Montrelais et Mouzeil à 500.000 ou 600.000 quintaux métriques. Quoique la mine de houille des Touches soit placée dans des conditions défavorables, sur un rétrécissement du bassin houiller, elle pourrait aussi probablement élever le chiffre de son extraction jusqu'à 100.000 quintaux métriques, production minimum au-dessous de laquelle les frais généraux absorbent et au delà tous les bénéfices; mais les compagnies qui s'y sont succédé se sont bornées à enlever la houille au fur et à mesure qu'elle était mise à découvert, et ne se sont jamais trouvées en état de faire les sacrifices nécessaires pour

exécuter des travaux préparatoires et élargir suffisamment le champ de l'exploitation.

Historique. — Puits du Bois-Long. — Exploitation de la Grand'-Mine. — Centre de la Peignerie. — Exploitation actuelle de Montrelais.

A part quelques travaux sans importance sur les affleurements, l'exploitation des mines de houille de la Loire-Inférieure remonte au milieu du siècle dernier.

Vers 1800, le puits du Bois-Long, à Montrelais, avait atteint la profondeur de 386 mètres qui est restée un maximum jusqu'à ce jour; l'approfondissement avait été opéré à l'aide de petits puits partiels, foncés entre les niveaux successifs; des manéges à chevaux servaient pour l'extraction et l'épuisement, et une seule veine, la veine n° 2 des Berthauderies, y était exploitée entre deux crains sur une longueur qui ne dépassait pas 210 mètres.

Plus tard, à la Grand'Mine de Montrelais, quatre puits ont été ouverts sur la grand'veine et la veine de la Taupe, et reliés entre eux par une galerie d'écoulement de 700 mètres; cette galerie aboutissait au puits d'Hérouville, consacré spécialement à l'épuisement et où a fonctionné la première machine à feu qui ait paru aux mines de la basse Loire.

L'exploitation s'est ensuite portée à la Peignerie, où l'on a exploité par deux puits, jusqu'à la profondeur d'environ 300 mètres, les veines du système des Petitsbois. Elle est actuellement concentrée, à Montrelais, sur les veines des Berthauderies, et s'opère à l'aide de deux puits, les puits Neuf et Saint-Joseph, qui sont placés à 370 mètres de distance et dont le premier a atteint 284 mètres de profondeur.

Quantité d'eau à épuiser. — Boisage.

La quantité d'eau à épuiser s'élève environ par 24 heures à 2.000 hectolitres en été et se réduit en hiver à 900 hectolitres.

L'exploitation consomme beaucoup de bois, ce qui résulte de la nature schisteuse des roches encaissantes et surtout de l'irrégularité des veines et de l'alternance de massifs de houille puissants avec des parties entièrement stériles. Les terrains ont d'ailleurs été broyés sous l'effort des soulèvement postérieurs et sont par suite très-ébouleux, suivant l'expression usitée par les mineurs; souvent aussi des blocs détachés, sous forme de grosses lentilles, sont engagés dans la houille, et peuvent, quand ils se trouvent au ciel des galeries d'allongement, occasionner des éboulements partiels. On emploie concurremment pour le boisage le chêne et le sapin. Le chêne coûte de 40 à 50 francs, et le sapin de 23 à 25 francs le mètre cube rendu à la mine. Le chêne vient pour la plus grande partie du département de la Sarthe; le reste provient des bois de Juigné près Pouancé, de Pontrond et de Rougé près Candi, en Maine-et-Loire, et de Montrevault en Vendée. Les sapins sont également tirés de la Sarthe ou des environs de Tours.

Caractère général des ouvriers mineurs. — Quatre classes d'ouvriers du fond. — Mineurs. — Boiseurs. — Manœuvres. — Serveurs.

Les ouvriers mineurs de la basse Loire ne manquent en général ni d'adresse ni de courage en face du danger; mais la persévérance et le goût du travail leur font souvent défaut. Quand ils ont gagné le prix ordinaire de leur journée, ils ne se montrent pas désireux de l'augmenter par une tâche supplémentaire.

Les ouvriers du fond sont répartis en quatre classes : mineurs proprements dits, boiseurs, manœuvres et serveurs.

Les mineurs sont chargés du percement des puits et galeries au rocher, des voies d'allongement et du dépilage des veines; ils doivent en outre boiser eux-mêmes leurs chantiers.

Les boiseurs entretiennent les boisages des puits, galeries, descenderies, voies et cheminées d'aérage; ils posent

et entretiennent les voies ferrées du roulage intérieur.

Les manœuvres effectuent le transport de la houille et des remblais.

Les serveurs sont des enfants de douze à quinze ans qui accompagnent les ouvriers mineurs et jouent le rôle d'apprentis.

Salaires. — Prix de revient du mètre courant de puits et de galerie. — Emploi des bourroirs en bois.

Les ouvriers mineurs gagnent environ 3 francs par jour et restent 11 heures dans la mine, y compris le temps employé à la remonte et à la descente par les échelles. Les boiseurs gagnent environ $2^f,50$. Ces deux classes d'ouvriers travaillent en général à la tâche. Les manœuvres gagnent $1^f,75$ et les serveurs de 1 franc à $1^f,50$.

Le mètre courant de fonçage au rocher, dans le puits Neuf des Berthauderies qui présente $2^m,34$ sur $1^m,68$ de section, est revenu en moyenne à 100 francs. Au puits Saint-Joseph, qui a 3 mètres sur $1^m,40$, on évalue à 150 francs le prix du mètre courant de fonçage. Les galeries à travers bancs sur $1^m,50$ de large et 2 mètres de hauteur coûtent, suivant la dureté du rocher, de 30 à 100 francs par mètre courant. La poudre est toujours au compte des ouvriers.

Les accidents résultant de l'explosion des coups de mine ont presque entièrement disparu depuis que j'ai fait adopter l'usage des bourroirs en bois.

Éclairage. — Roulage intérieur. — Méthode générale d'exploitation.

Il y a une certaine quantité de grisou dans les mines; aussi l'usage des lampes à feu nu est interdit, sauf dans les puits et aux enrochages où le courant d'air est très-actif.

Le roulage intérieur se fait au moyen de wagonnets contenant 4 hectolitres et dont les deux essieux sont très-rapprochés de manière qu'on puisse facilement les manœuvrer. Ils roulent sur des voies ferrées formées par des bandes de

fer méplat de $0^m,06$ sur $0^m,012$. On commence à se servi de chevaux pour le roulage intérieur.

Chaque centre d'exploitation comprend généralement deux puits qui communiquent entre eux pour l'aérage et qui servent simultanément pour l'extraction et pour l'épuisement. De 20 en 20 mètres dans la profondeur sont pratiquées des galeries à travers bancs dirigées du nord au sud, d'où partent à l'est et à l'ouest des galeries d'allongement pratiquées dans les veines. L'intervalle entre deux niveaux successifs sera porté désormais à 50 mètres pour diminuer le nombre des galeries au rocher et réduire par suite les frais d'exploitation. Le dépilage s'opère de bas en haut par gradins renversés et en s'élevant sur les remblais. On commence à guider les tonnes dans les puits.

Éléments du prix de revient de l'hectolitre de houille.

Le prix de revient de l'hectolitre pesant de 82 à 84 kilogrammes est d'environ $1^f,25$, et se décompose comme il suit :

	fr.
Abatage	0,1222
Roulage et remblai	0,1000
Boisage et entretien	0,0836
Percement de puits et galeries	0,1035
Main-d'œuvre au jour	0,1571
Boisage	0,2345
Entretien de chevaux et voitures	0,0240
Consommation et entretien des machines	0,1202
Câbles d'extraction et d'épuisement	0,0240
Voies ferrées souterraines	0,0020
Éclairage	0,0342
Entretien des outils	0,0572
Entretien des bâtiments	0,0060
Poudre, mèches, soufre	0,0135
Entretien des chemins à la surface	0,0293
Premier établissement de machines et bâtiments	0,0204
Frais généraux, administration, etc	0,1376
Total	1,2493

Prix moyen de vente et de transport aux principaux lieux de consommation.

Le prix moyen de vente de l'hectolitre sur le carreau de la mine est 1f,355, auquel il faut ajouter les frais de transport pour avoir le prix de vente sur les principaux lieux de consommation :

		fr.	
De Montrelais	à Ingrandes	0,15	par routes de terre.
—	à Vern	0,50	
—	à Angrie	0,45	
—	à la Meignanne	0,75	
—	à Sablé	0,55	par eau.
—	à Paviers	0,60	
—	à Pouancé	0,80	
De Mouzeil	à Copchoux	0,10	par routes de terre.
—	à Erbray	0,70	
—	à Ancenis	0,35	

Comparaison des prix de vente, sur la place de Nantes, de la houille de Montrelais et de la houille anglaise. — Analyse des houilles des principales veines. — Conclusion.

Le prix de vente de la tonne de houille sur le carreau de la mine serait de 15f,50, auxquels il faudrait ajouter 4 francs environ de frais de transport pour avoir le prix de la tonne de houille rendue à Nantes, soit 19f,50 ou 20 francs. Le prix de la tonne de houille anglaise, rendue à Nantes, varie de 23 à 30 francs, ainsi qu'il résulte des chiffres ci-après :

	fr.		fr.
Prix d'achat en Angleterre	8 »	à	10 »
Fret d'Angleterre à Nantes	12 »	à	15 »
Droit de douane	1,20	à	1,20
Déchargement, manutention, etc.	2,50	à	3,50
Totaux	23,70	à	29,70

Il y a donc une différence de 3 francs, qui peut s'élever jusqu'à 10 francs dans certaines circonstances, en faveur de la houille du département. Toutefois, tous les efforts

des exploitants pour faire entrer leur houille dans la consommation des usines de Nantes, qui monte à plus de 100.000 tonnes par an, sont jusqu'ici demeurés stériles. La houille anglaise est beaucoup plus pure, elle a un pouvoir calorifique beaucoup plus élevé, et les chauffeurs la trouvent d'un emploi beaucoup plus commode, de sorte que les industriels nantais ont toujours préféré faire le sacrifice d'une économie problématique, plutôt que d'être en butte aux réclamations de leurs ouvriers.

On peut se rendre compte de cette préférence par les analyses que j'ai faites des houilles provenant des veines actuellement exploitées et dont j'ai consigné les résultats dans le tableau ci-après :

COMPOSITION.	LES TOUCHES.	MOUZEIL.				MONTRELAIS.			
	Veine du Sud.	Grande veine.	Veine du Centre.	Veine du Sud.	Veine du Mur.	Veine de Machine.	Veine n° 1 des Berthauderies.	Veine n° 2 des Berthauderies.	Veine n° 3 des Berthauderies.
Matières volatiles. .	24	21	20	16	19	16	16	15	16
Cendres.	14	15	16	18	15	10	16	17	15
Carbone fixe. . . .	62	64	64	66	66	74	68	67	69

Ces essais ont été opérés sur des échantillons qui représentaient assez bien la moyenne des houilles correspondant à chaque veine. Les houilles sont souvent pyriteuses, surtout à Mouzeil et aux Touches, où les eaux d'épuisement sont blanchies par le soufre et dégagent de l'hydrogène sulfuré. J'ai dit que d'une manière générale les systèmes de veines donnaient de la houille de plus en plus grasse, à mesure qu'on s'avançait vers le nord. D'après cette loi et les résultats des essais précédents, la veine exploitée aux Touches doit se trouver au nord de celles qui sont exploitées à Mou-

zeil, et ces dernières doivent se trouver au nord de celles qui sont exploitées à Montrelais, ce qui confirme les idées que j'ai déjà énoncées sur la situation relative des veines exploitées dans ces trois concessions.

Les houilles, même avec les 15 à 20 p. 100 de cendres qu'elles renferment, sont déjà employées pour le chauffage des chaudières, et seraient pour cet objet, après un criblage et un lavage convenables, d'un emploi excellent. Elles peuvent donc constituer, en cas de besoin, une réserve utile dont les explorations nouvelles augmenteront certainement l'importance.

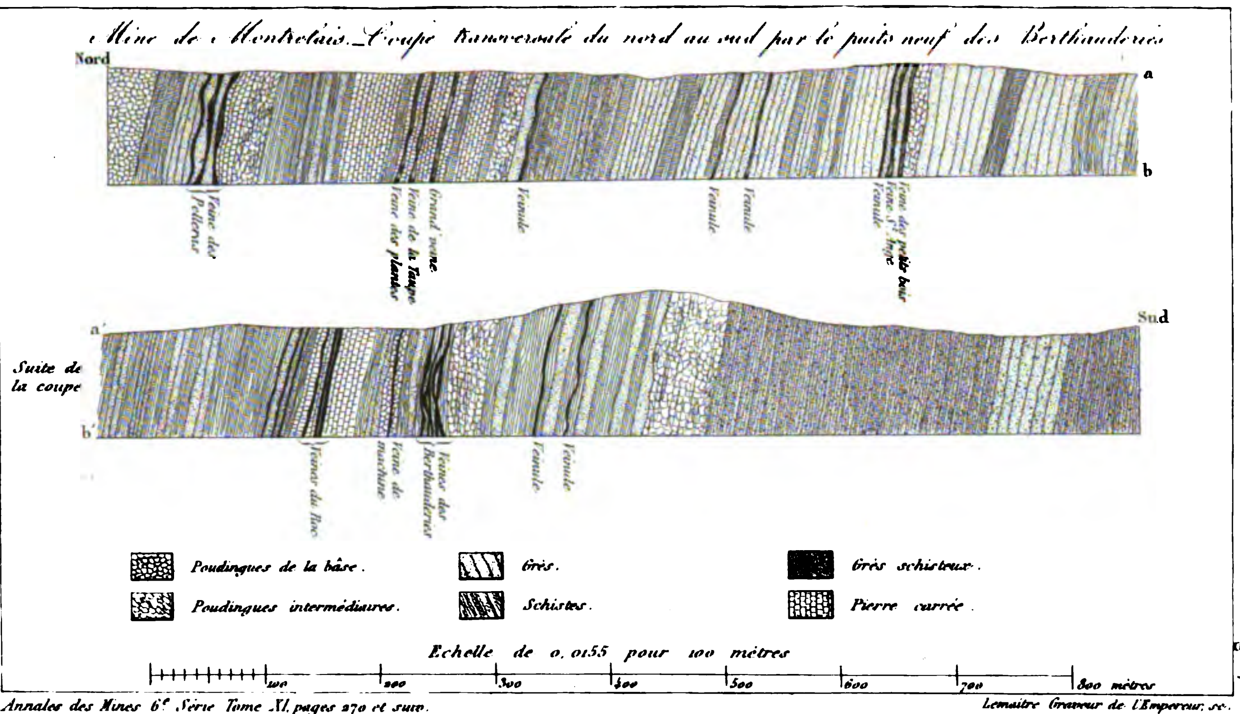
Cette observation, même restreinte à un des moindres gisements houillers de la France, peut avoir quelque intérêt, lorsque l'on a paru ces années dernières se préoccuper de savoir si les houilles françaises suffiraient, en cas de guerre, à la consommation de la marine, et si elles conviendraient pour le chauffage des bâtiments de guerre de l'État. Cette question pouvait être douteuse pour des marins, mais je ne pense pas qu'elle pût l'être pour des ingénieurs des mines.



GÉOLOGIE

Terrain à combustibles de la Loire inférieure
par M. E. Lorieux.

Page 270.



Annales des Mines 6e Série Tome XI, pages 270 et suiv.

Lemaître Graveur de l'Empereur, sc.



NOTICE

SUR LES SONDAGES EXÉCUTÉS DANS LA PROVINCE D'ALGER PENDANT LES ANNÉES 1864, 1865 ET 1866.

Par M. VILLE, ingénieur en chef des mines.

Nous allons donner dans cette notice quelques détails sur les sondages exécutés dans la province d'Alger pendant les années 1864, 1865 et 1866, par MM. les maîtres sondeurs Saury, Clément Purtschet, Émile Purtschet et Zambaux, sous la direction de MM. les ingénieurs des mines Vatonne et Ville.

§ I. — SONDAGES DU TERRITOIRE CIVIL.

En territoire civil, on a travaillé aux sondages suivants situés, pour la plupart, dans la plaine de la Métidja.

1° *Sondage de Méridja.*

Maîtres sondeurs : MM. Purtschet père et Saury.

Ce sondage a été exécuté sur notre proposition à la suite des études que nous avions faites dans le bassin hydrographique de la Métidja. Il a été commencé le 20 février 1863 au diamètre initial de $0^m,35$ et à 18 mètres d'altitude au-dessus de la mer.

L'avancement a été définitivement suspendu le 14 octobre 1864 à la profondeur de $138^m,20$ et au diamètre de $0^m,13$, après qu'on avait rencontré les couches suivantes :

NUMÉROS d'ordre.	DÉSIGNATION DES COUCHES.	ÉPAISSEUR des couches.	PROFONDEUR du sondage.	Observations.
		mètres.	mètres.	
1	Argile jaunâtre.	6,80	6,80	
2	Sable et petits graviers	0,40	7,20	
3	Marne jaune graveleuse.	1,10	8,30	
4	Sable jaune quartzeux.	1,20	9,50	
5	Marne jaune un peu graveleuse.	3,20	12,70	
6	Marne rouge très-sableuse.	0,30	13,00	(a)
7	Marne jaune très-graveleuse.	6,50	19,50	
8	Grès jaunâtre quartzeux à ciment calcaire	12,00	31,50	
9	Graviers très-quartzeux.	4,80	36,30	
10	Grès jaunâtre quartzeux à ciment calcaire.	3,20	39,50	
11	Sable jaune quartzeux et calcaire. . . .	3,00	42,50	(b)
12	Poudingues et graviers avec peignes et petoncles.	8,00	50,50	
13	Sable jaune quartzeux.	0,50	51,00	
14	Grès jaunâtre très-dur quartzeux, à ciment calcaire.	2,50	53,50	
15	Sable jaune quartzeux.	3,40	56,90	
16	Marne gris jaunâtre, jaune, grise, fossilifère dans le haut.	43,00	99,90	
17	Marne grise ou jaune graveleuse.	10,70	114,80	(c)
18	Sable et graviers.	4,20	110,60	
19	Marne jaune.	1,40	116,20	(d)
20	Sable calcaire et siliceux.	15,36	131,56	
21	Marne jaunâtre.	6,44	138,00	(e)
22	Sable quartzeux jaune, très-faiblement calcaire.	0,20	138,20	(f)

(a) 1re nappe ascendante à 13m,30 sous le sol :
Niveau d'eau. 1m,90
Température de l'eau. . . . 17°,00

(b) 2e nappe ascendante à 42m,20 sous le sol :
Niveau d'eau. 0m,90
Température de l'eau. . . . 16°,00

(c) 3e nappe ascendante à 105m,40 sous le sol :
Niveau d'eau. 0m,90
Température de l'eau. . . . 22°,00

(d) 4e nappe ascendante à 125m,30 sous le sol :
Niveau d'eau. 1m,40
Température. . . . . 22°,00

(e) 5e nappe ascendante à 131m,40 sous le sol :
Niveau d'eau. 0m,80
Température de l'eau. . . . 24°,50

(f) 6e nappe ascendante à 138m,20 sous le sol :
Niveau d'eau. 2m,45
Température de l'eau. . . 20°,00

La nature, éminemment ébouleuse des couches traversées a forcé d'introduire dans le trou de sonde les cinq colonnes suivantes :

		mètres.		mètres.
1°	Une colonne de	0,30	de diamètre allant du sol à	48,00
2°	—	0,27	—	61,50
3°	—	0,24	—	96,00
4°	—	0,18	—	131,10
5°	—	0,13	—	138,00

La colonne de 0^{m},27 n'a été engagée que de 13^{m},50 dans le trou de sonde. La pression des graviers et des sables des couches n°s 12, 13 et 15 l'a empêchée d'aller plus loin. On dut passer à la colonne de 0^{m},24 qui ne put descendre au delà de 96 mètres. A la suite d'une longue suspension de travail, il y eut un écrasement des tubes entre 73 et 74^{m},20. A la reprise des travaux, la colonne de 0^{m},21 refusa de dépasser 73 mètres, et il fallut la remplacer par la colonne de 0^{m},18 qui pénétra jusqu'à 131^{m},10, au pied de la couche de sable n° 20. Puis on introduisit la colonne de 0^{m},13 qui refusa de descendre au delà de 138 mètres, malgré les efforts énergiques exercés sur elle par de fortes vis de pression. Il a été impossible de continuer le sondage plus bas, à cause de la petitesse du diamètre du trou de sonde et de l'épuisement imminent des crédits mis à notre disposition. En conséquence, nous avons donné l'ordre de retirer les tubes engagés dans le terrain. Cette extraction a présenté les plus grandes difficultés et n'a pu se faire d'une manière complète.

Il est resté dans le trou de sonde :

mètres.		mètres.		fr.
10	de tubes de	0,13	de diamètre valant	130,00
36	—	0,18	—	648,00
36	—	0,24	—	864,00
			Valeur totale des tubes perdus...	1.642,00

C'est le 15 février 1865 que les travaux de Méridja ont été complétement terminés ; ils ont coûté en tout 25.008^{f},15, ce qui, pour 138^{m},20, donne un prix de revient de 181 fr. par mètre courant. C'est le prix le plus élevé de tous les sondages de la plaine de la Métidja. Il s'explique par les difficultés considérables présentées par ce sondage et par les chômages nombreux qui sont résultés de l'insuffisance du matériel et ont donné lieu à un surcroît de dépenses facile à éviter dans un travail continu. Ces chômages ne

seraient pas arrivés, si le service des mines avait eu au commencement de l'année un crédit suffisant pour faire face à toutes les éventualités.

107^jours,50 de vingt-quatre heures de travail ont été employés pour pousser le forage jusqu'à 138^m,20 de profondeur, ce qui donne un avancement moyen de 1^m,28 par vingt quatre heures. Il a fallu ensuite 30^j,50 de travail pour arracher les tubes, à cause de la pression des sables et des marnes. De nombreux accidents ont entravé cette opération.

Six nappes ascendantes ont été rencontrées à Méridja.

La première a été rencontrée à 13^m,30 à la tête de la couche de marne graveleuse n° 7. Sa température était de 17 degrés, tandis que celle de l'eau du puits de service était de 16°,50. Son niveau se tient à 1^m,90 sous le sol, tandis que le niveau de l'eau dans le puits de service était à 2^m,26 sous le sol. Cette nappe a été rencontrée dans plusieurs puits ordinaires de Méridja.

La deuxième nappe a été trouvée le 23 mars 1863 à 43,20 dans la couche de poudingue et graviers n° 12. Son niveau se tient à 0^m,90 sous le sol. Sa température n'était que de 16 degrés.

Le niveau de l'eau dans le puits de service était à la même époque de 0^m,90 sous le sol et la température de 16 degrés comme pour l'eau ascendant Il est probable que les pluies avaient alors relevé le niveau de l'eau dans le puits de service et contribué à baisser la température de l'eau ascendante.

Le niveau de l'eau dans le trou de sonde a baissé de nouveau avec l'approfondissement du forage. Il était de 1^m,65 sous le sol, le 21 mars 1864, lorsque le sondage était à 105^m,50; mais alors se manifesta une élévation subite du niveau de l'eau qui fut porté à 0^m,90 sous le sol dans le trou de sonde, ce qui correspond à une troisième nappe ascendante. La température de l'eau de cette nappe était de 22 degrés, tandis que l'eau du puits de la place marquait

18 degrés pour une profondeur d'environ 2 mètres. La différence de température entre ces deux nappes est de 4 degrés et correspond à une différence de 103^{m},50 de profondeur, ce qui donne un accroissement de température de 1 degré pour un accroissement de profondeur de 25^{m},85. En pompant dans le trou de sonde, on a obtenu un débit de 1 litre par seconde et le niveau a baissé à 2^{m},75 sous le sol. En continuant le sondage, on a fait filer la colonne de 0^{m},18 au-dessous de la troisième nappe ascendante, ce qui a coupé cette dernière; aussi le niveau a baissé de nouveau dans le trou de sonde et le puits de service; il était de 1^{m},80 le 30 mai 1864. Il y eut alors une nouvelle dénivellation en traversant la couche de sable calcaire et siliceux n° 20, ce qui correspond à une quatrième nappe ascendante trouvée à 125^{m},30. Le niveau de l'eau sous le sol se maintint à 1^{m},90 dans le puits de service et s'éleva à 1^{m},40 dans le trou de sonde; la température de l'eau du trou de sonde fut portée subitement de 20 à 22 degrés.

Une cinquième nappe ascendante a été trouvée à 131^{m},40 à la partie inférieure de la même couche de sable n° 20. Le niveau de l'eau dans le puits de service étant à 2 mètres sous le sol, celui du trou de sonde s'est élevé subitement à 0^{m},80 sous le sol, et la température de l'eau a été portée à 24°,50. Des trous ont été faits dans la colonne de garantie à 1^{m},30 sous le sol pour faire tomber l'eau artésienne au fond du puits de service, d'où une conduite à ciel ouvert la menait dans un aqueduc traversant la route carrossable d'Alger au Fondouk. Le débit de cette cinquième nappe a varié de 14 à 20 litres par minute. Ce débit est sans doute insignifiant au point de vue de l'irrigation des cultures, mais il n'en démontre pas moins la possibilité de trouver des nappes jaillissantes dans le terrain pliocène de la partie orientale de la Métidja.

La colonne de 0^{m},13 étant enfoncée au delà de 131^{m},40, le niveau d'eau a baissé de nouveau, par suite de la ren-

contre de la couche de sable n° 22, qui n'a été traversée que sur 0m,20 d'épaisseur.

Le 26 décembre 1864, le sondage ayant atteint 138m,20, le niveau de l'eau sous le sol était, dans le trou de sonde, de. 2m,45,
Idem, dans le puits de service, de. 2m,65;
la température de l'eau était, dans le trou de sonde, de. . . . . 20°
Idem, le puits de service, de. . . . . 20°
Idem, le puits de la place, de. . . . . 18°,7

Ainsi la rencontre des sables à 138 mètres a fait baisser le niveau de l'eau, dans le trou de sonde, de 0m,90 à 2m,45; en même temps les sables se sont élevés de plusieurs mètres dans la colonne de 0m,13; ils renferment donc une nappe ascendante dont le niveau hydrostatique est plus faible que la nappe immédiatement au-dessus.

Dans le sondage de Méridja on a traversé à partir du sol:

1° Le terrain quaternaire;

2° Le terrain pliocène marin.

Le terrain quaternaire s'arrête probablement à 56m,90 de profondeur au mur de la couche de sable jaune n° 15. Il renferme les deux premières nappes ascendantes.

Le terrain pliocène marin, composé de marnes pures ou graveleuses, s'étend de 56m,90 à 138m,20. Il a donné quatre nappes ascendantes, ce qui a confirmé, au point de vue théorique, nos études géologiques sur le bassin de la Métidja. Nous avons reconnu, en effet, que le terrain pliocène marin se relève, au sud, contre les flancs de l'atlas, et au nord contre la Bouzaréah, de manière à former une cuvette artésienne. Comme les assises moyennes de ce terrain renferment des alternances de marnes et de grès, nous en avons conclu la possibilité d'y trouver des eaux jaillissantes, en se plaçant dans les parties basses de la plaine. D'un autre côté, l'examen de la source qui alimente la Maison-Carrée, sur la rive droite de l'Harrach et celui de la

source de la propriété Maison, sur la rive gauche de la même rivière, nous avaient montré que c'était deux véritables sources jaillissantes naturelles venant du terrain pliocène, à une profondeur de 100 à 120 mètres. La rencontre des nappes ascendantes trouvées dans le terrain pliocène de Méridja a justifié nos prévisions. Comme Méridja est en amont des sources ci-dessus, c'est sans doute pour ces motifs que la nappe produisant ces dernières s'est montrée simplement ascendante dans notre sondage. Si la multiplicité des couches de sables fluides n'avait pas empêché de pousser le sondage au delà de 138^m,20, il est probable qu'on eût rencontré au-dessous une nappe jaillissante susceptible d'un bon emploi pour les irrigations. Malheureusement les travaux de sondage ont parfois à lutter contre des difficultés insurmontables, et c'est ce qui est arrivé à Méridja.

Dans le sondage de Méridja, on a employé la tarière mue par une rotation jusqu'à la profondeur de 11^m,60. Au delà les terrains ont toujours été attaqués par percussion, d'abord à l'aide de l'instrument à chute de M. Kind, et plus tard à l'aide de l'instrument à chute libre imaginé par M. Clément Purtschet.

M. le maître sondeur Purtschet père a conduit le sondage jusqu'à 131^m,40. La fin du travail a été exécutée par M. le maître sondeur Saury, qui a remplacé M. Purtschet père, après la mort de ce dernier.

2° *Sondage de Baba-Ali.*

Maîtres sondeurs : MM. Saury et Clément Purtschet.

Ce sondage a été exécuté dans la ferme de Baba-Ali, située sur la rive gauche de l'Harrach, à 17^k,500 sud d'Alger. Il a été commencé le 25 novembre 1864, à 32^m,70 au-dessus du niveau de la mer et au diamètre de 0^m,30. L'avancement a été définitivement suspendu le 14 juin 1865, à la profondeur de 177^m,15, après avoir rencontré les couches suivantes :

NUMÉROS d'ordre.	DÉSIGNATION DES COUCHES.	ÉPAISSEUR des couches.	PROFONDEUR du sondage.	Observations.
		mètres.	mètres.	
1	Terre végétale	2,00	2,00	
2	Marne jaune sableuse et graveleuse	15,00	17,00	
3	Graviers	22,10	39,10	(a)
4	Marne jaune ou brune	27,30	66,40	
5	Marne graveleuse	5,60	72,00	
6	Marne jaune pure	19,90	91,90	(b)
7	Sable jaune fin	1,50	93,40	
8	Sable argileux jaunâtre	21,80	115,20	
9	Marne jaune	19,90	135,10	
10	Marne jaunâtre graveleuse	25,25	160,35	(c)
11	Marne jaune peu graveleuse avec concrétions calcaires dans le haut	13,55	173,90	
12	Marne grise pure	3,15	177,05	

(a) 1re nappe ascendante à 33^m^,70
Température de l'eau.. 17°,50
Niveau d'eau....... 2^m^,40

(b) 2e nappe ascendante à 92^m^,00
Température de l'eau.. 16°,50
Niveau d'eau....... 0^m^,63

(c) 3e nappe ascendante à 144^m^,85
Température de l'eau.. 20°,00
Niveau d'eau....... 1^m^,00

Toutes ces couches appartiennent au terrain quaternaire qui a comblé la partie occidentale de la plaine de la Métidja.

On a introduit dans le trou de sonde les colonnes suivantes partant du sol :

		mètres.		mètres.
1°	Une colonne de	0,30	qui est descendue à	17,60
2°	—	0,27	—	40,55
3°	—	0,24	—	85,70
4°	—	0,18	—	137,00
5°	—	0,13	—	167,20

Le sondage a marché régulièrement et sans accidents graves. Il a exigé 122 jours de 20 heures de travail, ou 102 jours de 24 heures de travail, pose des tubes comprise, ce qui donne un avancement moyen de 1^m^,73 par 24 heures. L'arrachement des tubes après l'abandon des travaux et les expériences de pompage à la hauteur des différentes nappes ont exigé en plus 8 jours de 24 heures de travail.

Les dépenses ont été les suivantes :

	fr.
Fournitures et transports.	1.323,27
Main-d'œuvre et surveillance.	6.355,02
Appointements du contre-maître.	1.665,60
Prime à M. Kind.	489,00
Total.	9.832,79

Le prix de revient a été de 55f,55 par mètre courant d'avancement. C'est un des prix les moins élevés pour les sondages exécutés dans la plaine de la Métidja.

Les résultats obtenus au sondage de Ben-Tallah, qui est situé à 4 kilomètres nord-est du sondage de Baba-Ali, avaient provoqué l'exécution de ce dernier sondage. La coupe ci-dessous du sondage de Ben Tallah permettra de comparer les résultats obtenus dans les deux sondages.

NUMÉROS d'ordre.	DÉSIGNATION DES COUCHES.	ÉPAISSEUR des couches.	PROFONDEUR du sondage.	Observations.
		mètres.	mètres.	
1	Terre végétale	6,40	6,40	
2	Marne jaunâtre avec quelques graviers. .	22,00	28,40	
3	Graviers et marnes graveleuses.	14,40	42,80	(a)
4	Marne jaune ou bleue.	5,80	48,60	
5	Marne jaunâtre avec graviers.	8,50	57,10	
6	Marne rouge ou jaunâtre avec nombreux graviers	20,50	77,60	(b)
7	Gravier argileux aquifère.	0,50	78,10	
8	Alternance de marnes graveleuses et de graviers.	44,70	122,80	
9	Marne jaune.	10,05	132,85	(c)
10	Sables aquifères au milieu desquels est une lentille de marne de 3m,40 d'épaisseur.	28,40	161,25	
11	Marne jaune avec graviers	14,65	175,90	
12	Marne gris jaunâtre avec graviers.	2,70	178,60	
13	Marnes graveleuses.	22,18	200,78	

(a) Première nappe ascendante à. . . . 42m,80
(b) Deuxième nappe ascendante à. . . 77m,60
(c) Première nappe jaillissante de. . . 132m,85 à 161m,25

Les couches qui portent les mêmes numéros dans les deux coupes peuvent être assimilées, et l'on reconnaît dans les deux sondages la succession des mêmes couches stratigraphiques. Seulement les épaisseurs sont différentes ainsi que cela arrive souvent dans le terrain quaternaire. La cou-

che de graviers n° 3, qui a 22m,10 d'épaisseur à Baba-Ali correspond, à Ben-Tallah, à une alternance de graviers et de marnes graveleuses de 14m,40 d'épaisseur. De part et d'autre on observe une première nappe ascendante qui se trouve à Baba-Ali, à 33m,70, et à Ben-Tallah, à 42m,80. Le niveau de l'eau s'élève à 2m,40 sous le sol à Baba-Ali, et à 0m,65 sous le sol à Ben-Tallah.

La couche de sable jaune et fin n° 7 de Baba-Ali, située à 92 mètres du sol correspond à la couche de graviers argileux aquifères n° 7 de Ben-Tallah, située à 77m,60 du sol. De part et d'autre se trouve une deuxième nappe ascendante.

Le niveau de l'eau de cette nappe s'élève à 0m,63 sous le sol à Baba-Ali, et à 1m,90 sous le sol à Ben-Tallah.

La grande couche de marne jaunâtre graveleuse n° 10, qui, à Baba-Ali, a 25 mètres d'épaisseur et dont le mur est à 160m,45 du sol, correspond à la couche de sables aquifères n° 10, qui, à Ben-Tallah, a 28m,40 d'épaisseur et dont le mur est à 161m,25 du sol. A Baba-Ali, elle renferme une troisième nappe ascendante qui correspond à la nappe jaillissante de Ben-Tallah.

Le niveau d'eau de cette nappe s'élève à 1 mètre sous le sol à Baba-Ali, et à 1m,70 au-dessus du sol à Ben-Tallah. Les couches 11 et 12 de Ben-Tallah correspondent identiquement aux couches 11 et 12 de Baba-Ali; les épaisseurs et les couleurs sont à peu près les mêmes de part et d'autre. On voit donc que la concordance est complète entre les deux sondages; et si l'on n'a pas trouvé d'eau jaillissante à Baba-Ali, c'est uniquement parce que l'orifice du sondage est plus élevé que celui du sondage de Ben-Tallah de 3m,91. Cette différence de niveau est trop faible pour qu'on pût en conclure *à priori* que le sondage de Baba-Ali ne réussirait pas. La proximité des sondages de Baba-Ali et de Ben-Tallah, l'analogie de leurs situations respectives entre le pied du Sahel et le massif de l'Atlas, puisqu'ils se trouvent à très-peu près sur une même parallèle à l'axe

longitudinal de la plaine de la Métidja, la faible altitude des orifices de ces sondages au-dessus du niveau de la mer :

mètres.	
32,70 pour le sondage de	Baba-Ali.
28,79 —	Ben-Tallah.

L'existence de sources naturelles jaillissantes à peu de distance à l'aval de Baba-Ali, les allures des couches quaternaires qui se relèvent au sud contre le flanc septentrional de l'Atlas, de manière à former une sorte de cunette qui plonge vers le Sahel, tout donnait lieu de supposer que le sondage de Baba-Ali serait couronné de succès. Malheureusement le résultat n'a pas répondu à cette attente ; mais une expérience était nécessaire pour savoir d'une manière positive à quoi s'en tenir à cet égard.

Il devenait inutile de continuer le sondage Baba-Ali au delà de 177 mètres, puisqu'il était certain qu'on avait traversé la couche contenant la nappe jaillissante inférieure de Ben-Tallah. Du reste, le crédit mis à la disposition du service des mines était presque épuisé. En conséquence, nous avons donné l'ordre au maître sondeur de suspendre les travaux d'avancement et de procéder à l'extraction des tubes de retenue. En même temps des expériences de pompage ont été faites dans le trou de sonde avec une bonne pompe Letestu, pour mesurer le débit des nappes ascendantes. Les deux nappes inférieures ont eu un débit très-faible, variable de $1^l,50$ à 2 litres par seconde. Le niveau de l'eau se maintenant dans le trou de sonde entre 2 et 3 mètres sous le sol, il devenait inutile de les conserver. En conséquence, on a enlevé en entier les tubes de $0^m,13$, $0^m,18$ et $0^m,24$ de diamètre. Le pied de la colonne de $0^m,27$ de diamètre ayant été placé à 33 mètres du sol, la nappe supérieure située à $33^m,70$ a donné 11 litres à $11^{lit},50$ par seconde pendant plusieurs heures, sans que le niveau de l'eau dans le trou de sonde se soit baissé au-dessous de $2^m,78$. Cette nappe peut donc être, dans la région de Baba-

Ali, d'une très-grande ressource pour l'irrigation, et il sera facile aux divers propriétaires de cette localité de l'atteindre par des forages peu coûteux.

33 mètres de colonne de $0^m,27$ ont été laissés dans le trou de sonde, afin de conserver cette nappe ascendante. En cherchant à retirer les $18^m,60$ de la colonne de $0^m,30$, elle s'est dérivée à 3 mètres du sol, et l'on n'a pu enlever qu'un bout de tube de 3 mètres.

Dans le forage proprement dit, on a employé la tarière jusqu'à la profondeur de 17 mètres; le reste du travail a été fait par percussion à l'aide de l'instrument à chute libre imaginé par M. Clément Purtschet.

3° *Sondage de Sidi-Moussa.*

Maître sondeur : M. Paul Zambaux.

A la date du 27 octobre 1862, Son Excellence le maréchal duc de Malakoff, gouverneur général de l'Algérie, a décidé en principe, sur notre proposition, que deux puits artésiens seraient exécutés en 1863 dans la plaine de la Métidja, l'un par le système Kind, l'autre par le système à la corde, perfectionné par M. Zambaux. Le sondage de Méridja fut commencé par le système Kind dès le mois de février 1863; le sondage à la corde devait être exécuté à Roubia, village situé à 6 kilomètres est de Méridja. Le sondage de Méridja ayant bientôt dépassé les terrains quaternaires de la plaine de la Métidja pour pénétrer dans le terrain pliocène qui jusqu'à ce jour n'avait été exploré par aucun sondage, il nous a paru imprudent de commencer le sondage de Rouiba avant la complète exécution de celui de Méridja. Aussi avons-nous dû rechercher dans la plaine un autre point qui ne se trouvât pas dans les mêmes conditions géologiques que Méridja. Après de nouvelles études sur les lieux, nous proposâmes de faire l'essai du système Zambaux, soit à Sidi-Moussa, soit à Chebli. Ces deux villages sont situés au sud

d'Alger, dans la partie centrale de la plaine de la Métidja. Ils n'ont qu'une quantité insuffisante d'eau d'alimentation, surtout pendant l'été; aussi demandaient-ils depuis longtemps que l'administration préfectorale fît exécuter un sondage chez eux.

Les explorations géologiques que nous avons faites en 1863 dans le bassin de la Métidja, rapprochées des résultats obtenus antérieurement dans les sondages de Baraki et de Ben-Tallah, nous donnaient lieu de penser qu'au moyen d'un sondage de 150 à 200 mètres de profondeur, on pourrait obtenir aussi bien à Chebli qu'à Sidi-Moussa, sinon de l'eau jaillissante au-dessus du sol, du moins de l'eau ascendante qui servirait à alimenter d'une manière permanente les puits sur la place publique de ces villages. L'administration a jugé que le sondage de Sidi-Moussa avait un plus grand caractère d'utilité publique, parce que c'est le point de convergence de plusieurs routes très-fréquentées.

Par suite de retards apportés par M. Zambaux dans la construction de son outillage, le sondage de Sidi-Moussa, qui est à $64^{m},70$ d'altitude au-dessus du niveau de la mer, n'a pu être commencé qu'en septembre 1863, au diamètre initial de $0^{m},38$. Il a toujours marché d'une manière fort irrégulière. Les diverses parties de l'outillage n'étaient pas d'abord parfaitement agencées. Il y a eu des ruptures fréquentes de pièces qui ont motivé des chômages plus ou moins longs. En ce moment, le trépan est coincé au fond du trou de sonde qui n'a pu dépasser encore la profondeur de 118 mètres. Les efforts qu'il a été possible de faire avec le câble de battage en chanvre ont été insuffisants pour dégager l'outil, et il a fallu prêter à M. Zambaux des tiges rigides en fer de $0^{m},04$ de côté, un grand balancier et de fortes vis de pression; mais toutes les tentatives d'extraction ont échoué jusqu'à ce jour. Les travaux ont été suspendus par M. Zambaux à la fin du mois d'avril 1865, et il est

douteux qu'on réussisse à arracher l'outil qui est si fortement engagé dans le trou de sonde. Malgré les perfectionnements souvent ingénieux apportés par M. Zambaux dans le système chinois, on ne peut dire que son outillage ait donné jusqu'ici de bons résultats dans les terrains quaternaires de Sidi-Moussa. Ces terrains sont, il est vrai, très-difficiles à forer, à cause de la grande quantité de graviers et de sables graveleux qu'ils renferment. La difficulté des terrains s'est donc ajoutée pour M. Zambaux aux tâtonnements d'une première expérience.

Voici la série des couches traversées dans le sondage de Sidi-Moussa :

NUMÉROS d'ordre.	DÉSIGNATION DES COUCHES.	ÉPAISSEUR des couches.	PROFONDEUR du sondage.	Observations.
		mètres.	mètres.	
1	Terre végétale et graviers	3,65	3,65	
2	Marne grise	3,00	6,65	
3	Marne rougeâtre	3,00	9,65	
4	Cailloux roulés plats	0,50	10,15	
5	Marne rougeâtre	2,00	12,15	
6	Graviers fins et coulants	1,00	13.15	
7	Marne graveleuse	3,75	16,90	
8	Marne pure	2,50	19,40	
9	Marne graveleuse	15,25	34,65	
10	Graviers	30,80	65,45	
11	Marne rougeâtre pure	2,80	68,25	
12	Marne rougeâtre et sables fins	3,75	72,00	
13	Sables et graviers	11,00	83,00	
14	Marne rougeâtre graveleuse	7,10	91,00	
15	Sables purs très-fins	2,00	93,00	
16	Marne rouge graveleuse	2,00	95,00	
17	Marne rouge pure	4,00	99,00	
18	Graviers et sables	4,00	103,00	
19	Marne jaune graveleuse	2,00	105,00	
20	Marne jaune pure	1,00	106,00	
21	Sables fins	12,00	118,00	

On a trouvé une série de couches de graviers, de sables, de marnes graveleuses et de marnes pures appartenant au terrain quaternaire. Malgré la présence de nombreuses couches de sables et de graviers, on n'a constaté dans le trou aucun mouvement ascensionnel subit du niveau de l'eau. Ce dernier a oscillé entre 5 et 9 mètres, par

suite de l'influence des pluies d'hiver, et s'est toujours maintenu à peu près à la même hauteur que dans les puits de la place qui n'est distant du sondage que d'une centaine de mètres. On ne peut donc se baser sur les variations de la colonne d'eau pour en conclure l'existence de nappes ascensionnelles. Cependant il est probable qu'il en existe au milieu des nombreuses couches de graviers et de sables traversées dans le sondage. Ainsi le niveau d'eau s'est maintenu entre 9 mètres et $9^m,20$ jusque dans les premiers jours de février 1864, pendant qu'on traversait la grande couche de graviers n° 10; mais en arrivant à la partie inférieure de cette couche, le niveau d'eau s'est insensiblement élevé à 5 mètres au-dessous du sol; puis il a baissé de nouveau lorsque les tubes ont dépassé le pied de cette couche. Il se peut donc que cette dernière renferme une nappe ascendante dont le niveau hydrostatique se tient à 5 mètres sous le sol. Les progrès journaliers du sondage ont empêché d'installer une pompe sur place pour mesurer le débit du puits à diverses profondeurs.

L'expérience infructueuse faite en 1865 à Baba-Ali, qui se trouve dans le même bassin artésien, à 4.800 mètres nord-ouest de Sidi-Moussa et à une altitude inférieure de 32 mètres, ôte aujourd'hui toute chance de succès au sondage de Sidi-Moussa; car ce dernier présente nécessairement une situation beaucoup plus désavantageuse au point de vue du jaillissement des nappes qui sont à une profonfondeur de 150 à 200 mètres. Aussi, par décision du 27 décembre 1865 prise sur la proposition du service des mines, Son Excellence le gouverneur général de l'Algérie a prescrit l'abandon du sondage de Sidi-Moussa. Il ne reste aujourd'hui qu'à retirer les tubes engagés dans le trou de sonde et à faire des expériences de pompage à diverses hauteurs, afin d'aménager les nappes ascendantes dont le débit sera assez fort pour satisfaire aux besoins de la population de Sidi-Moussa.

Les colonnes de tubes qui existent au sondage de Sidi-Moussa sont au nombre de quatre, savoir : .

		mètres.		mètres.
1°	Une colonne de	0,36	de diamètre allant du sol à	15,00
2°	—	0,33	—	60,60
3°	—	0,30	—	86,50
4°	—	0,27	—	101,00

Les travaux de sondage ont été exécutés par M. Zambaux à l'entreprise et aux conditions suivantes :

Les 100 premiers mètres, à raison de 80 francs le mètre courant ;

Les 100 mètres suivants, à raison de 100 francs le mètre courant.

Les tubes de retenue ont été payés en sus par l'administration.

Les déboursés pour le forage de 118 mètres se sont élevés à 9.800 francs, non compris la valeur des tubes. A l'époque où le marché a été passé avec M. Zambaux, le prix de 90 francs en moyenne par mètre courant, non compris la valeur des tubes pour un sondage de 200 mètres de profondeur, était inférieur à la moyenne des prix de revient des sondages exécutés par le système Kind.

4° *Sondage de Ferguen.*

Maîtres sondeurs : MM. Clément Purtschet et Saury.

Le sondage de Ferguen a été commencé à 2.500 mètres nord du sondage de l'Oued-el-Aleug, n° 3. Il se trouve dans le même bassin artésien et à la même altitude (21 mètres) au-dessus du niveau de la mer. D'après la grande homogénéité des couches traversées dans les sondages nos 2 et 3 de l'Oued-el-Aleug, il était permis de penser que la même série de couches se retrouverait à Ferguen, et que dès lors on arriverait très-rapidement à la grande nappe jaillissante si-

tuée à 66 mètres environ de profondeur; malheureusement ces prévisions ont été complétement déjouées : au lieu de n'avoir à traverser qu'une couche d'argile facile à enlever à la tarière, on a rencontré une alternance de couches nombreuses de graviers et d'argile qui ont rendu le travail d'avancement très-lent et très-difficile.

Voici, en effet, la coupe des terrains traversés depuis le 8 juin 1865, époque du commencement des travaux, jusqu'au 28 janvier 1866, époque à laquelle les travaux ont été complétement terminés :

Numéros d'ordre.	Désignation des couches.	Épaisseur des couches.	Profondeur du sondage.	Observations.
		mètres.	mètres.	
1	Argile grise	7,50	7,50	
2	Graviers et gros cailloux roulés	5,50	13,00	(a)
3	Argile bleue	11,00	24,00	
4	Graviers et sables	6,40	30,40	(b)
5	Marne jaune	2,10	32,50	
6	Graviers et sables	13,40	45,90	(c)
7	Marne jaunâtre et bleuâtre	1,00	46,90	
8	Sable et graviers	6,10	53,00	(d)
9	Marne jaune graveleuse	0,60	53,60	
10	Gravier fin et sable	6,40	59,00	
11	Marne jaune sablonneuse	2,40	61,40	
12	Sables et graviers	11,40	72,80	(e)
13	Marne jaune graveleuse	2,70	75,50	
14	Graviers et sables	5,00	80,50	(f)
15	Marne bleue avec hélix	8,50	89,00	

(a) Première nappe jaillissante de $7^{m},60$ à 13 mètres.
Niveau hydrostatique au sol.
Température de l'eau, 19 degrés.
Débit insignifiant.

(b) Deuxième nappe jaillissante de 24 mètres à $30^{m},40$.
Niveau hydrostatique + $0^{m},60$
Température de l'eau. . $20^{\circ},00$
Débit primitif à $0^{m},10$ du sol, $0^{lit},47$ par seconde.

(c) Troisième nappe jaillissante de $32^{m},50$ à $45^{m},90$.
Niveau hydrostatique + $2^{m},80$
Température de l'eau. . $20^{\circ},00$
Débit primitif, 5 litres environ par seconde.

(d) Quatrième nappe jaillissante de $48^{m},55$ à 59 mètres.
Niveau hydrostatique + $2^{m},80$
Température de l'eau. . $21^{\circ},30$
Débit primitif, 8 litres environ par seconde.

(e) Cinquième nappe jaillissante de $61^{m},40$ à $72^{m},80$.
Niveau hydrostatique. . $3^{m},00$
Température de l'eau. . $21^{\circ},80$
Débit primitif, 13 litres environ par seconde.

(f) Sixième nappe jaillissante de $75^{m},50$ à $80^{m},50$.
Niveau hydrostatique. . $3^{m},08$
Température de l'eau. . $21^{\circ},80$
Débit primitif, $1^{lit},50$ environ par seconde.

Comme terme de comparaison, nous donnons ci-dessous la coupe des terrains traversés dans le sondage de l'Oued-el-Aleug, n° 3, situé au milieu du communal de ce village.

NUMÉROS d'ordre.	DÉSIGNATION DES COUCHES.	ÉPAISSEUR des couches.	PROFONDEUR du sondage.	Observations.
		mètres.	mètres.	
1	Terre végétale et graviers.	2,50	2,50	
2	Marne gris foncé ou jaune.	9,00	11,50	
3	Marne brune un peu graveleuse.	1,60	13,10	(a)
4	Marne jaune, verte, bleue, blanc jaunâtre, jaune.	53,60	66,10	(b)
5	Graviers argileux aquifère traversés sur.	5,10	71,20	

(a) Première nappe jaillissante à 28 mèt. Débit, $0^{lit},13$ par seconde à 1 mètre sous le sol de l'atelier.

(b) Deuxième nappe jaillissante à 66 mèt. Débit, 21 litres par seconde. Température, 22 degrés.

Dans le sondage de Ferguen, on a traversé sept couches de graviers et de sables ayant une épaisseur totale de $55^{m},20$. Les sept roches de marnes qui alternent avec les précédentes n'ont qu'une épaisseur totale de $35^{m},80$. Dans le sondage de l'Oued-el-Aleug, n° 3, on n'a trouvé que de la marne, du sol à 66 mètres au-dessus de la grande nappe jaillissante. Six nappes ont jailli à Ferguen au-dessus du sol aux profondeurs respectives de $7^{m},50$, 24 mètres, $32^{m},50$, $48^{m},55$, $61^{m},40$ et $75^{m},50$. Elles ont été fournies par les couches de graviers venant immédiatement au-dessous. Le débit total qui a été capté est de $20^{lit},50$ par seconde à la température de 21°,60 à $0^{m},30$ au-dessus du sol. Le niveau hydrostatique est de $5^{m},08$ au-dessus du sol. Les débits primitifs indiqués pour chaque nappe dans la colonne des observations ne sont qu'approximatifs, parce que l'approfondissement journalier du sondage empêchait d'isoler chacune de ces nappes.

Il résulte de la comparaison des coupes des sondages de l'Oued-el-Aleug n° 3 et de Ferguen :

1° Que la 1re nappe jaillissante de Ferguen n'a pas été constatée à l'Oued-el-Aleug n° 3;

2° Que la 2e nappe jaillissante de Ferguen correspond pour le débit et la profondeur à la 1re nappe jaillissante de l'Oued-el-Aleug n° 3;

3° Que les 3e, 4e, 5e et 6e nappes jaillissantes de Ferguen correspondent à la 2e nappe jaillissante de l'Oued-el-Aleug n° 3.

Celle-ci se serait donc divisée à Ferguen en quatre nappes secondaires dont le débit total est à peu près le même que celui de la nappe de l'Oued-el-Aleug. Des faits semblables se sont présentés au reste dans les sondages du terrain quaternaire de l'Oued-Rhir.

Les nombreuses sources jaillissantes du sondage de Ferguen ont ralenti considérablement les travaux, parce qu'en délavant les graviers et les sables elles empêchaient ces derniers d'être ramenés par la soupape. En outre les eaux jaillissantes remontaient des graviers qui s'arrêtaient dans les espaces annulaires compris entre les colonnes de retenue. Ces graviers rendaient alors les colonnes solidaires et les empêchaient de descendre facilement. De là une plus grande lenteur dans le travail.

On a employé la tarière et le tire-bouchon pour les couches d'argile trouvées du sol à 33 mètres; plus bas on a attaqué les roches par percussion à l'aide de l'instrument à chute libre imaginé par M. le maître sondeur Clément Purtschet. On a introduit dans le trou de sonde les colonnes de garantie suivantes partant du sol :

		mètres.			mètres.
1°	Une colonne de	0,28	de diamètre	descendant à	33,50
2°	—	0,24	—		56,00
3°	—	0,18	—		81,50

La colonne de 0m,21 de diamètre n'a pu passer dans la colonne de 0m,24, à cause de l'épaisseur des manchons. Il a fallu la remplacer par la colonne de 0m,18.

A la fin des travaux, on a fait des fentes verticales à diverses hauteurs dans la colonne de $0^m,18$ de diamètre afin de capter les 5e et 6e nappes.

Deux fentes de $0^m,72$ de long vont de $78^m,81$ à $79^m,53$;

Deux autres fentes de 1 mètre de long vont de $77^m,33$ à $78^m,33$.

Ces fentes correspondent à la 6e nappe.

Deux fentes vont de $70^m,13$ à $69^m,13$ et correspondent à la 5e nappe,

Puis on a coupé la colonne de $0^m,18$ à $54^m,86$ au-dessous du sol et l'on a retiré le tronçon supérieur.

Afin de donner un écoulement plus facile à la 4e nappe. on a fait dans la colonne de $0^m,24$ de diamètre :

1° Trois fentes de $0^m,60$ de long, de $54^m,51$ à $54^m,91$ sous le sol;

2° Trois fentes de $0^m,30$ de long, de $51^m,74$ à $52^m,04$.

Ces dernières ont été faites avec beaucoup de difficultés.

On a fait une dernière fente à $44^m,74$ du sol pour dégager la troisième nappe; elle a été également très-difficile à ouvrir. Puis on a pratiqué une série de trous disposés en quinconce les uns au-dessus des autres, et espacés de $0^m,10$ entre 47 et 52 mètres. Ces derniers trous n'ont pas augmenté le débit total.

On a coupé la colonne de $0^m,24$ de diamètre à diverses hauteurs, et l'on a essayé de relever au sol les tronçons situés au-dessus de $31^m,30$, à partir du sol; mais on n'a pu y parvenir, parce que cette colonne est rendue solidaire avec la colonne de $0^m,27$ de diamètre par les graviers que les nappes jaillissantes ont accumulés dans l'espace annulaire compris entre les deux colonnes. Quant à la colonne de $0^m,27$ de diamètre qui, primitivement, s'était arrêtée à $33^m,50$ sous le sol, elle a été entraînée plus tard à plus de 15 mètres au-dessous de sa position primitive par la descente de la colonne de $0^m,27$ de diamètre, et dès lors on n'a pu la retirer du trou.

Les travaux de sondage ont été suspendus du 12 juillet au 25 septembre 1865, parce que les fièvres paludéennes sévissaient sur le détachement de sondeurs militaires.

64 journées,50 de 24 heures de travail onté consacrées à faire les 89 mètres de forage, pose des tubes comprise, ce qui donne un avancement moyen de $1^m,38$ par 24 heures.

Par suite des difficultés du travail, les dépenses totales ont été plus considérables que nous ne l'avions prévu ; elles s'élèvent à 11.000 francs environ, ce qui donne un prix de revient d'environ 124 francs par mètre courant.

5° *Sondage de la ferme de Bonnery.*

Maîtres sondeurs : MM. Clément Purtschet et Saury.

Un sondage a été exécuté par le service des mines dans la propriété que M. Bonnery possède à Ferguen, à 2 kilomètres Est environ du sondage précédent et à une altitude inférieure de 2 à 3 mètres. Commencé le 5 février 1866, le travail, qui n'a marché que de jour, a été entièrement terminé le 28 février suivant, à $49^m,30$ de profondeur, après avoir rencontré les couches suivantes :

NUMÉROS d'ordre	DÉSIGNATION DES COUCHES.	ÉPAISSEUR des couches.	PROFONDEUR du sondage.	Observations.
		mètres.	mètres.	
1	Terre végétale et graviers	0,70	0,70	(a)
2	Marne gris jaune	21,25	21,95	(b)
3	Marne jaune graveleuse	1,00	22,95	
4	Marne jaune très-sableuse	2,95	25,90	
5	Marne bleue pure	15,60	41,50	
6	Marne sableuse et graveleuse	1,50	43,00	(c)
7	Sable gris argileux	1,00	44,00	
8	Graviers	5,30	49,30	(d)

(a) Le niveau des eaux d'infiltrations superficielles se tient à $4^m,70$ sous le sol.

(b) Première nappe ascendante à $21^m,95$.
Le niveau d'eau se tient à $2^m,60$ sous le sol.

(c) Première nappe jaillissante à 43 mètres.
Débit, $6^{lit},40$ par seconde.
Température, 20°,50.

(d) Deuxième nappe jaillissante de 44 mètres à 49 mètres.
Débit, 30 litres par seconde.
Température, 21°,20.
Niveau hydrostatique, $3^m,15$ au-dessus du sol.

La première nappe ascendante, située à 21m,95 sous le sol, correspond à la deuxième nappe jaillissante, trouvée à Ferguen et à la grande nappe jaillissante du sondage d'Oued-el-Aleug, à 24 mètres sous le sol.

Les deux nappes jaillissantes trouvées à 43 et à 44 mètres correspondent aux quatre nappes jaillissantes inférieures de Ferguen n° 3. Il se pourrait qu'au-dessous de la couche de graviers n° 7, il y eût encore d'autres nappes jaillissantes; mais le résultat obtenu étant plus que suffisant pour M. Bonnery, le travail n'a pas été poussé plus loin. On a introduit dans le trou de sonde deux colonnes de garantie en tôle.

L'une, de 0m,27 de diam., descend à 35m,70 sous le sol;
l'autre, de 0m,24 *idem* à 49m,30 *idem*

Cette colonne descend jusqu'au pied de la nappe aquifère. Des fentes verticales ont été faites à des hauteurs convenables pour donner latéralement un écoulement facile aux eaux jaillissantes, et l'on a obtenu ainsi un débit total de 30lit,24 par seconde, à 0m,50 au-dessus du sol, et à la température de 21°,20. Les deux nappes trouvées dans le sondage n'étant séparées que par 1 mètre de sable gris argileux, il est probable qu'elles constituent une nappe unique. Aussi le débit total, capté à la surface du sol, est-il moindre que la somme des débits trouvés séparément pour chaque nappe dans le cours du sondage. Le niveau hydrostatique des eaux jaillissantes captées s'élève à 3m,15 au-dessus du sol.

La colonne de 0m,31 a été coupée à 34m,46 du sol, et l'on a retiré le tronçon supérieur.

Les 49m,30 de forage ont été creusés en 8jours,33 de 24 heures de travail; ce qui donne un avancement moyen de 5m,92 par 24 heures de travail.

On a employé la tarière, mue par rotation, pour traverser les argiles, et le trépan à chute libre pour traverser les sables et les graviers.

Le sondage a coûté les sommes suivantes :

	fr.
Main-d'œuvre.	905,19
Prime à M. Kind.	204,00
Fournitures diverses et transports.	304,03
Tubes en tôle, laissés dans le trou de sonde.	915,43
Total.	2.328,65

ce qui donne un prix de revient de 47f,23 par mètre courant d'avancement, tout compris.

Après que l'on eut trouvé la grande nappe jaillissante, M. Bonnery demanda que l'exécution des fentes fût différée pendant quelque temps. La colonne de $0^{m},21$ descendait seulement à $17^{m},30$ du sol. Quelques jours après la cessation des travaux, le pied de cette colonne fut obstrué par les apports de la grande nappe jaillissante. Le débit a diminué progressivement, et en définitive, il était presque nul. Des graviers, mêlés d'argile étaient remontés dans la colonne de $0^{m},21$ de diamètre, sur $2^{m},80$ de hauteur. Il a fallu battre au trépan et aussi avec la soupape à boulet pour nettoyer le trou. Le pied de la colonne de $0^{m},21$ de diamètre fut ensuite descendu à $49^{m}.30$ jusqu'à la base de la nappe aquifère. L'exécution de fentes verticales, sur toute la hauteur de la nappe, a redonné à l'eau jaillissante un débit de $30^{lit},24$ par seconde.

Ce sondage est destiné à irriguer les cultures de M. Bonnery, et surtout à abreuver ses troupeaux, qui, en été, manquaient d'eau potable de bonne qualité.

Sondage Dangla, auprès du pont du Masafran.

Maîtres sondeurs : MM. Saury et Clément Purtschet.

Un sondage a été exécuté par le service des mines au moulin de M. Dangla, situé auprès du pont du Masafran, sur la route de Blidah à Coleah. Il avait pour but d'augmenter la quantité d'eau motrice du moulin. La présence

de sources artésiennes, naturelles, aux températures de 19°,50 et 21°, en mars 1866, dans le voisinage du moulin, permettait d'augurer favorablement du sondage, bien que ce dernier fût exécuté à l'extrême limite nord du bassin quaternaire de la plaine de la Métidja, à 50 mètres environ du pied du Sahel, qui appartient à une formation géologique plus ancienne que cette plaine.

Le travail a été commencé le 6 mars 1866, au diamètre de $0^m,27$; il n'a marché que ee jour, Le 24 avril suivant il était terminé à la profondeur de $53^m,50$, après avoir rencontré les couches suivantes :

NUMÉROS d'ordre.	DÉSIGNATION DES COUCHES.	ÉPAISSEUR des couches.	PROFONDEUR des couches.	Observations.
		mètres.	mètres.	
1	Terre végétale	5 00	5,00	(a)
2	Marne bleue avec helix	19,00	24,00	
3	Sable gris, très-fin, argileux	7,73	31,73	(b)
4	Sable rouge	1,00	32,73	
5	Sable jaune argileux	1,77	24,50	(c)
6	Graviers	2,00	36,50	
7	Marne jaune sableuse	0,90	37,40	
8	Graviers et sables	6,00	43,40	(d)
9	Marne jaune bleue	4,50	47,90	
10	Marne jaune sableuse	0,61	48,51	
11	Cailloux roulés et sable rouge	0,49	49,00	(e)
12	Poudingue	0,15	49,15	
13	Graviers et sables	4,35	53,50	

(a) Les eaux d'infiltrations superficielles se tiennent à 2 mètres sous le sol.

(b) Première nappe jaillissante de $31^m,73$ à $32^m,73$.
Débit au niveau du sol, très-faible.

(c) Deuxième nappe jaillissante de $34^m,50$ à $36^m,50$.
Débit, $5^{lit},18$ par seconde, au niveau de la vanne du moulin.
Température, 20°,50.

(d) Troisième nappe jaillissante à 40 mètres.
Debit, $3^{lit},60$ par seconde.
Température, 20°,30.

(e) Quatrième nappe jaillissante de $49^m,15$ à $53^m,30$.
Débit, $3^{lit},89$ par seconde, au niveau de la vanne du moulin.
Température, 21°,50.

La première nappe jaillissante du sondage Dangla correspond à la deuxième nappe jaillissante de Ferguen. Le débit de ces deux nappes, au sol, est très-faible.

La deuxième nappe du sondage Dangla a été trouvée

dans une couche de graviers allant de 34^{m},50 à 36^{m},50. Sa température est de 20°,50. Son niveau est de 1^{m},40 au-dessus du sol. Son débit, qui était primitivement de 2^{l},50 par seconde, a augmenté avec l'approfondissement du sondage, au milieu de la couche de gravier qui renferme la nappe. Il s'est élevé, en définitive, à 5^{l},18 par seconde au niveau de la vanne de décharge du moulin.

Lorsque la colonne de retenue de 0^{m},24 a été descendue à 37^{m},30 au pied de la couche de marne jaune n° 7, l'écoulement de la deuxième nappe jaillissante a été intercepté. On a enfoncé le trépan rubané jusqu'à 40 mètres, et l'on a rencontré au milieu de la couche de sables et de graviers n° 8, une troisième nappe jaillissante, à la température de 20°,80, débitant 3^{l},60 par seconde.

Il est probable que les nappes n°s 2 et 3 du sondage Dangla correspondent à la troisième nappe jaillissante du sondage de Ferguen.

Enfin la quatrième nappe jaillissante du sondage Dangla s'étend de 49^{m},15 à 53^{m},30.

Son débit au niveau de la vanne du moulin est de 3^{l},89 par seconde, à la température de 21°,50. Sa température, à 53 mètres, est de 22 degrés. En raison de sa profondeur, elle paraît correspondre à la quatrième nappe jaillissante de Ferguen, qui s'étend de 48^{m},25 à 59 mètres.

Il est probable que si le sondage Dangla avait été continué, on aurait rencontré au-dessous la cinquième nappe jaillissante de Ferguen, qui est la plus importante de toutes; mais il a fallu arrêter les travaux en raison de l'épuisement des crédits mis à notre disposition.

Les premiers 34^{m},50 de sondage ont été faits sans tubage au diamètre de 0^{m},27. Des éboulements obligent d'introduire une colonne de garantie en tôle de 0^{m},24 de diamètre. Celle-ci descend d'abord librement et plus tard, à l'aide seulement de fortes vis de pression. Elle arrive à 46 mètres, au milieu de la couche de marne n° 9, tandis

que le sondage descend à 49 mètres. Un éboulement comble alors le fond du trou de sonde, et engage fortement le trépan, que l'on retire avec peine à l'aide des vis de pression, du balancier de battage et du treuil. On est obligé de descendre immédiatement la base de la colonne jusqu'à 49 mètres au-dessus de la couche de poudingue n° 12, qu'elle n'a pu dépasser. On introduit alors une colonne de $0^m,18$ de diamètre, qui a été poussée jusqu'à $53^m,50$.

Des fentes verticales ont été faites au pied de cette colonne, à la hauteur des trois nappes inférieures, puis on l'a coupée à $46^m,50$ du jour, et on a retiré le tronçon supérieur. Le débit total ainsi capté à la vanne de décharge du moulin est de 11 litres par seconde, à la température de 21°,20. Son niveau hydrostatique s'élève à $1^m,75$ au-dessus du sol.

Cette eau est d'excellente qualité, comme toutes celles, du reste, qui ont été trouvées dans les sondages d'Oued-el-Aleug et de Ferguen.

Les premiers $34^m,50$ ont été faits à la tarière en 30 heures de travail; ce qui donne un avancement moyen de $27^m,60$ par 24 heures; mais la rencontre des couches de gravier n°s 6, 8, 11, 12 et 13 a ralenti considérablement le sondage.

En définitive, $15^{jours},12$ de 24 heures de travail ont été consacrés à faire $53^m,50$ de forage, tubage compris; ce qui donne un avancement moyen de $3^m,50$ par 24 heures de travail.

Le 19 mars, au matin, un coup de vent des plus violents a renversé la chèvre de sondage; deux montants et plusieurs traverses ont été brisés. Il en est résulté une suspension de travail de cinq jours.

Les dépenses sont les suivantes :

	fr.
Main-d'œuvre.	1.244,96
Prime à M. Kind.	535,00
Achat de tubes, transports et fournitures diverses.	1.384,87
Total.	3.164,83

Ce qui donne un prix de revient de 59f,15 par mètre courant d'avancement, tubes compris.

Sondage Bonnaventure.

Maîtres sondeurs : MM. Clément Purtschet et Saury.

Un sondage a été commencé par le service des mines le 25 juillet 1866 dans la propriété que M. Bonnaventure possède dans le territoire de Ferguen sur la rive droite du Masafran, à 2 kilomètres de la route de Blidah à Koléah et à 450 mètres environ du pied du versant sud du Sahel, c'est-à-dire tout près de la limite septentrionale du bassin artésien de cette région. L'orifice du sondage se trouve à 20 mètres d'altitude au-dessus du niveau de la mer et à peu près dans la même situation que le sondage Dangla, qui n'en est éloigné que d'environ 1.000 mètres vers l'est. Aussi espérions-nous obtenir des résultats de même nature, mais nos prévisions ne se sont pas complétement réalisées. Si les débits de ces deux sondages sont comparables, il n'en est pas de même pour les températures de l'eau et pour la profondeur des nappes.

Le sondage Bonnaventure a été terminé le 5 novembre 1866, après avoir rencontré les couches suivantes appartenant aux alluvions anciennes de la plaine de la Métidja.

NUMÉROS d'ordre.	DÉSIGNATION DES COUCHES.	ÉPAISSEUR des couches.	PROFONDEUR des couches.	Observations.
		mètres.	mètres.	
1	Terre végétale	4,00	4,00	
2	Argile marbrée	6,00	10,00	
3	Argile bleue sableuse	20,00	30,00	(a)
4	Sable et graviers	12,70	42,70	
5	Argile bleue	2,50	45,20	
6	Marne jaune graveleuse	5,30	50,50	
7	Marne jaune avec nombreux coquillages à la base	21,50	72,00	(b)
8	Marne jaune graveleuse passant parfois au poudingue	9,00	81,00	
9	Marne jaune très-grasse	1,00	82,00	

(a) Première nappe jaillissante de $31^m,20$ à $42^m,70$.
Température : 20 degrés.
Débit : 5 litres environ par seconde.

(b) Deuxième nappe jaillissante de 72 à 81 mètres.
Température : 20 degrés.
Débit : 5 litres environ par seconde.

Deux nappes jaillissantes ont été rencontrées. La première est située dans une couche de graviers qui s'étend de $31^m,20$ à $42^m,70$ de profondeur. Son débit est d'environ 4 litres par seconde, à la température de 20 degrés.

La deuxième nappe est située dans une couche de graviers mêlés d'argile, qui s'étend de 72 à 81 mètres, et dont le débit est d'environ 6 litres par seconde, à 20 degrés.

Ces deux nappes jaillissent toutes les deux au-dessus du sol. Après leur captage définitif, elles ont fourni ensemble, à $0^m,10$ au-dessus du sol, 10 litres par seconde d'une eau d'excellent goût, à la température de 20 degrés; à 1 mètre en contre-bas du sol, le débit total est de 20 litres environ par seconde. La hauteur hydrostatique des eaux jaillissantes est de $0^m,55$ au-dessus du sol. Ce sondage se trouve au point de vue du débit dans les mêmes conditions que celui de Dangla, qui fournit 11 litres par seconde au sol. Mais tandis qu'on n'a trouvé que deux nappes jaillissantes chez M. Bonnaventure, on en a trouvé quatre chez M. Dangla. En outre, chez ce dernier, la nappe la plus profonde a été rencontrée entre $49^m,15$ et $55^m,30$, tandis

que chez M. Bonnaventure, elle s'étend de 72 à 81 mètres. On remarquera aussi que la température des eaux jaillissantes est moins élevée au sondage Bonnaventure qu'au sondage Dangla, bien que ce dernier soit beaucoup moins profond que le premier.

Dans le sondage Bonnaventure, on a travaillé à la tarière jusqu'à la profondeur de 30 mètres; puis on s'est servi alternativement du trépan à chute libre et de la tarière selon la nature du terrain.

On a introduit dans le trou de sonde les colonnes de garantie en tôle qui suivent :

				Sous le sol.
		mètres.		mètres.
1°	Une colonne de	0,27	de diamètre intérieur descendant à	31,00
2°	—	0,21	—	48,00
3°	—	0,18	—	73,30
4°	—	0,13	—	76,30

Lorsque la colonne de $0^{m},21$ de diamètre fut descendue à 48 mètres, elle s'est déboîtée à $14^{m},80$ sous le sol par les efforts de torsion que l'on développait pour la faire descendre plus bas. On a dès lors retiré le tronçon supérieur de $14^{m},80$ et passé à la colonne de $0^{m},18$ de diamètre. Celle-ci n'ayant pu dépasser la profondeur de $73^{m},30$, on a introduit la colonne de $0^{m},13$ qui s'est arrêtée à $76^{m},30$ de profondeur sur un banc de poudingue que l'élargisseur avait grand peine à broyer.

Le travail d'avancement a été définitivement arrêté le 23 novembre 1866.

On a fait des fentes au pied de la colonne de $0^{m},13$ de diamètre, afin de bien dégager la nappe inférieure. On a obtenu en effet une augmentation très-notable dans le débit. La colonne a été coupée ensuite à 70 mètres sous le sol et on a retiré le tronçon supérieur; puis la colonne de $0^{m},18$ de diamètre a été coupée avec beaucoup de difficultés à 43 mètres sous le sol et on a retiré également le tronçon supérieur. On a fait alors dans le pied de la colonne de

$0^m,21$ en regard de la 1[re] jaillissante, des fentes verticales qui ont augmenté le débit de cette nappe. On a laissé dans le trou de sonde la colonne de $0^m,21$ dont la tête se trouve à $14^m,80$ sous le sol. On a laissé également les tubes de $0^m,27$ de diamètre qui remontent jusqu'au niveau du sol.

En définitive, il reste dans le trou de sonde :

	mètres.			mètres.	
Tubes de	0,27	de diamètre. —	Longueur :	31,50	Il y a $0^m,30$ de raccord horizontal pour la sortie de l'eau.
—	0,21	—	—	33,20	
—	0,18	—	—	30,30	
—	0,13	—	—	6,30	
		Total.		101,30	

Les travaux ont chômé pendant la plus grande partie du mois d'août, parce qu'il manquait à l'outillage une soupape à boulet de $0^m,18$ de diamètre qu'on a fait fabriquer à Alger pendant le mois de septembre et d'octobre. Il y a eu également de nombreux chômages, à cause des fièvres paludéennes qui sévissaient sur le détachement. Ces diverses causes expliquent la lenteur de ce sondage. On a employé en travail effectif $35^{jours},62$ de 24 heures pour faire 82 mètres de forage, pose des tubes et aménagement des sources compris, ce qui donne un avancement moyen de $2^m,30$ par 24 heures.

Les dépenses du sondage ont été les suivantes :

	fr.
Main-d'œuvre et surveillance.	2.456,25
Prime à M. Kind.	68,00
Transport et fournitures diverses.	314,70
Valeur de tubes de retenue pris à Alger. .	1.600,00
Total.	4.438,95

Ce qui donne un prix de revient de $54^f,13$ par mètre courant d'avancement tout compris.

Pour faire connaître d'une manière complète tous les sondages exécutés de 1864 à 1866 dans le territoire de l'Oued-

el-Aleug, nous dirons quelques mots seulement des trois premiers sondages exécutés dans cette localité et qui ont été décrits avec détails par M. l'ingénieur des mines Vatonne, dans un mémoire qui a été inséré dans les *Annales des Mines*, t. IX, année 1866.

Sondage de l'Oued-el-Aleug n° 1.

Maître sondeur : M. Purtschet père.

Ce sondage est situé à 63^m,93 d'altitude au-dessus du niveau de la mer et à 850 mètres sud-est de la place de l'Oued-el-Aleug. Commencé le 21 septembre 1863 au diamètre de 0^m,30, il avait atteint 127^m,40 le 31 décembre 1864.

Les travaux d'avancement ont été terminés le 25 janvier 1864 à la profondeur de 150 mètres après avoir rencontré quatre nappes ascendantes aux profondeurs de 69 mètres, 82 mètres, 112^m,70 et 150 mètres.

Les niveaux auxquels ces nappes remontent au-dessous du sol sont respectivement de 5 mètres pour la 1re nappe, 3^m,30 pour la deuxième, 1^m,10 pour la troisième et 1^m,30 pour la quatrième qui n'a pas été traversée sur toute son épaisseur, à cause de l'épuisement des crédits.

Les températures sont de 21° pour la 1re nappe, 22° pour la deuxième et 23° pour la troisième.

Quatre colonnes de retenue ont été introduites dans le trou de sonde pour maintenir ses parois. Des accidents imprévus et irréparables sont survenus pendant les tentatives d'extraction des colonnes qu'on jugeait inutiles de laisser dans le trou de sonde. Il a été impossible dès lors de tirer parti de la 3e nappe qui se trouvait prisonnière derrière un tronçon de 50 mètres de tubes de 0^m,18 de diamètre obstrué par un gros fragment de rivoir en fonte. Le débit de la 2e nappe mesuré à l'aide d'une pompe a été de 1 litre par seconde, en faisant baisser le niveau de l'eau dans le trou

de sonde à 5 mètres sous le sol. En présence de ce résultat, on a reculé devant les sacrifices nécessaires pour utiliser les 2 nappes supérieures. Il aurait fallu, en effet, exécuter une longue tranchée de 6 mètres de hauteur au moins, à partir de l'orifice du trou de sonde et y établir une conduite soit en poterie, soit en maçonnerie. La dépense eût été de 3 à 4.000 francs pour un résultat de très-peu d'importance.

Le sondage a coûté 11.580 francs, ce qui donne 76 francs pour prix de revient du mètre courant tout compris.

L'approfondissement moyen a été de $2^m,04$ par vingt-quatre heures de travail, tubage compris.

Sondage de l'Oued-el-Aleug n° 2.

Maître sondeur : M. Clément Purtschet.

Un 2e sondage a été exécuté à l'angle sud-est du village de l'Oued-el-Aleug, à 54 mètres d'altitude au-dessus de la mer. Il a été commencé le 25 juin 1864 et terminé le 20 septembre suivant à la profondeur de $108^m,70$. Il a rencontré trois nappes jaillissantes qui donnent ensemble 20 litres par seconde, à la température de 22°, à l'entrée du village au niveau de la route de Blidah.

La 1re nappe est à $34^m,20$ de profondeur et débite $0^{lit},67$ par seconde;

La 2e nappe est à 66 mètres de profondeur et débite $16^{lit},33$ par seconde;

La 3e nappe est à $102^m,30$ de profondeur et débite 3 litres par seconde.

Ce sondage a coûté 9.986 francs tout compris, soit $91^f,86$ par mètre courant d'avancement. Il sert à l'irrigation des jardins et son utilité est des plus grandes.

L'approfondissement moyen a été de $2^m,53$ pour vingt-quatre heures de travail, tubage compris.

Sondage de l'Oued-el-Aleug n° 3.

Maître sondeur : M. Clément Purtschet.

Le résultat obtenu dans le village a engagé à faire un 3e sondage à 2.700 mètres nord de la place publique, à la tête du terrain communal, compris entre l'Oued Safsaf et la route de Blidah à Koléah et à 21 mètres d'altitude au-dessus de la mer. L'emplacement qui a été choisi pour ce nouveau travail pouvait donner lieu à l'établissement d'un hameau. Comme il est de 33 mètres au-dessous de l'orifice du sondage n° 2, il était probable qu'il donnerait un débit plus considérable que ce dernier.

Les travaux d'approfondissement ont été commencés le 26 septembre 1864 au diamètre de $0^{m},30$ et terminés le 18 octobre suivant à $71^{m},80$.

Deux nappes jaillissantes ont été rencontrées :

La première, à 28 mètres de profondeur avec un débit de $0^{lit},13$ par seconde, à 1 mètre sous le sol de l'atelier;

La deuxième, entre $66^{m},10$ et $71^{m},80$.

Le débit s'est élevé jusqu'à 61 litres par seconde à 1 mètre sous le sol; mais la source n'a pas tardé à rejeter de volumineux galets d'argile, ce qui a apporté de profondes altérations dans son débit. Celui-ci s'est arrêté parfois d'une manière complète, par suite des tampons d'argile qui se formaient dans la colonne ascensionnelle de $0^{m},21$ de diamètre; on a curé pendant deux jours à la tarière et au trépan; enfin le débit s'est régularisé, la source a jailli limpide, et, deux mois après la fin des travaux, elle donnait 25 litres par seconde à 22°50 et à $0^{m},40$ au-dessus du sol; aujourd'hui il n'est que de 21 litres par seconde. Plusieurs fentes ont été percées dans la colonne ascensionnelle pour donner à l'eau un écoulement plus facile. Le pied de cette colonne est à 67 mètres sous le sol.

Ce sondage a coûté 3.073 francs, ce qui donne $42^{f},80$

pour prix de revient du mètre courant d'avancement, tubes compris. C'est un des sondages dont le prix de revient est le moins élevé parmi tous ceux qui ont été exécutés dans la plaine de la Métidja.

L'approfondissement moyen a été de $5^m,21$ par vingt-quatre heures de travail, tubage compris.

Sondages du Tombeau de la Chrétienne.

Maître sondeur : M. Clément Purtschet.

Sa Majesté l'empereur Napoléon III ayant daigné accorder à MM. Berbrugger, inspecteur des monuments historiques, et Mac Carthy, géographe, des fonds pour faire des recherches archéologiques au tombeau de la Chrétienne, un premier sondage a été exécuté par le service des mines au sommet de ce tombeau, pour reconnaître s'il n'existait pas au centre et vers le bas du monument une cavité sépulcrale.

Ce sondage a été commencé au point désigné par MM. Berbrugger et Mac Carthy, le 28 novembre 1865, au diamètre de $0^m,25$, et n'a marché que de jour. Il était terminé le 16 janvier 1866 à $45^m,25$, après avoir rencontré les terrains suivants :

NUMÉROS d'ordre.	DÉSIGNATION DES TERRAINS.	ÉPAISSEUR des couches.	PROFONDEUR du sondage.	OBSERVATIONS.
		mètres.	mètres.	
1	Assises diverses de pierres de taille calcaires et de moëllons calcaires.	32,00	32,00	
2	Grès argileux rouge.	1,30	33,30	Terrain pliocène.
3	Marne jaunâtre.	3,90	37,20	Id.
4	Marne jaune sableuse. . . .	8,05	45,25	Id.

Du point culminant à 32 mètres on a traversé une série d'assises de pierres de tailles et de moellons en calcaire quaternaire. Des éboulements nombreux survenus princi-

palement entre 15 et 20 mètres ont ralenti le travail et ont démontré que le remplissage du centre du mouvement avait été fait parfois avec de petits matériaux; c'est ce qui, du reste, a été constaté également en déblayant la grande tranchée faite par un chef indigène, du haut en bas du tombeau de la Chrétienne. On a tubé le trou de sonde, au diamètre de $0^m,21$, jusqu'à $8^m,70$ de profondeur seulement. Au-dessous, les parois du trou de sonde ont fini par se consolider après l'éboulement des parties incohérentes. Le sol vierge a été trouvé à 32 mètres de profondeur; il se compose de grès argileux rougeâtre et de marne jaunâtre tertiaires.

D'après les ordres de M. Berbrugger, il a été traversé sur $13^m,25$ pour s'assurer que la cavité sépulcrale ne se trouvait pas au-dessous du sol primitif de la colline portant le tombeau.

$10^{jours},67$ de 24 heures de travail ont été employés pour faire $45^m,25$ de sondage; ce qui donne un avancement moyen de $4^m,24$ par 24 heures. C'est une marche très-rapide. On n'a employé que le trépan à chute libre de l'invention de M. Clément Purtschet pour désagréger les roches.

Ce sondage a coûté $1.294^f,95$; ce qui donne un prix de revient de $28^f,61$ par mètre courant.

Treize petits sondages ont été exécutés en dehors de l'axe du tombeau, au milieu des assises de pierres de taille et de moellons qui constituent ce dernier. Le tableau suivant présente leurs profondeurs respectives.

DÉSIGNATION DES SONDAGES.	PROFONDEUR des sondages.	PROFONDEUR totale au-dessous du sommet du tombeau.
	mètres.	mètres.
Sondage n° 2	14,75	29,55
— n° 3	8,90	24,70
— n° 4	11,00	25,80
— n° 5	15,00	27,80
— n° 6	12,00	27,80
— n° 7	9,00	25,30
— n° 8	20,90	28,90
— n° 9	22,70	30,70
— n° 10	25,70	27,50
— n° 11	19,40	29,00
— n° 12	18,80	28,40
— n° 13	15,15	30,95
— n° 14	19,40	27,80
Total	$214^{m},70$	

Les $214^{m},70$ de sondage ont été faits en 29 jours de 24 heures de travail, ce qui donne un avancement moyen de $7^{m},40$ par 24 heures. Ils ont coûté $2.191^{f}52$; d'où résulte un prix de revient moyen de $10^{f},21$ par mètre courant.

L'ensemble des quatorze sondages présente une profondeur totale de $259^{m},95$ et a coûté $3.486^{f},47$; ce qui porte le prix de revient moyen à $13^{f},41$ par mètre courant.

Tous ces prix sont inférieurs à ceux qu'on a payés pour les sondages de 15 à 20 mètres de profondeur, exécutés antérieurement dans les vallées alluviennes de la plaine de la Métidja. Ces derniers ont coûté de 14 à 48 francs par mètre courant, selon la difficulté des terrains.

Le 5 mai 1866, lorsque le sondage n° 3 eut atteint la profondeur de $14^{m},50$, à partir de l'orifice, le trépan tomba tout à coup de $2^{m},65$. Le travail fut interrompu immédiatement. M. Berbrugger fit éclairer le fond avec des feux de Bengale et constata l'existence d'une cavité faite de main d'homme et dont les parois étaient en pierres de taille. Le trou fait par le trépan se trouvait sur l'aplomb de l'une des murailles verticales de la cavité. Une galerie de $6^{m},75$ de longueur fut ouverte, à partir du jour, pour donner

accès dans la cavité, et l'on pénétra ainsi dans une galerie souterraine à grande section, de 2^m,42 de hauteur sous la voûte, et de 2^m,04 à 1^m,98 de large, terminée à l'extrémité la plus éloignée du jour par deux chambres sépulcrales, et commençant, près du jour, par un premier caveau. On put constater alors que le sondage n° 3 avait pénétré dans une excavation qui se trouve au fond du caveau d'entrée, et qui avait été pratiquée par d'anciens explorateurs du monument. La chute du trépan n'ayant été que de 0,20 environ, n'avait donné lieu à aucune remarque particulière.

Le sondage n° 13 montre que le sol de la galerie mortuaire est à 1^m,05 au-dessus du terrain vierge sous l'aplomb du sondage.

Les sondages n°s 2 à 14 ont présenté quelques difficultés d'exécution à cause du peu de place que l'on avait pour installer l'engin de sondage. On a dû se contenter d'une chèvre à deux montants arc-boutée par des cordages. Le battage se faisait par un mouvement de sonnette, à l'aide d'un câble passant sur une poulie fixée au sommet de la chèvre. Pour rendre plus facile la désagrégation de la roche, on devait jeter de l'eau au fond du trou de sonde, et cette eau était montée à grand peine à bras d'homme jusqu'à l'orifice des sondages. Plusieurs gradins nettoyés avec le plus grand soin sur tout le pourtour du monument étaient autant de chemins de service pour aborder les différents sondages ; mais ces gradins n'ayant que 0^m,50 de large sur 0^m,50 de hauteur moyenne, les ouvriers devaient faire la plus grande attention en marchant. Le 18 avril 1866, un malheureux ouvrier chargé du tonneau vide qui avait servi à transporter l'eau destinée au sondage n° 11 a fait un faux pas et s'est fracassé le crâne en tombant d'une hauteur verticale de 15^m,40.

Sondages du Pont de la Chiffa.

Maître sondeur : M. Saury.

Trois sondages ont été exécutés par le service des mines pour le compte de la compagnie des chemins de fer algériens dans le lit de la Chiffa, le long de la direction du grand pont projeté sur cette rivière.

	PROFONDEUR TOTALE.
	mètres.
Sondage n° 1.	7,51
— n° 2.	6,30
— n° 3.	15,10
Total.	28,91

Le sondage n° 1 n'a traversé que des cailloux roulés jusqu'à 7 mètres du sol; au-dessous, vient de la marne jaune.

Le sondage n° 2 n'a traversé que des galets.

Le sondage n° 3 a traversé des graviers du sol à 7^{m}60; au-dessous se trouve de la marne jaune graveleuse.

La présence des blocs roulés et des gros graviers a rendu le travail très-lent, surtout pour les deux premiers sondages dans lesquels on ne faisait parfois que 0^{m},10 par journée de 10 heures de travail. On a été obligé de tuber pour éviter les éboulements. 11^{jours},67 de 24 heures de travail ont été employés à faire 28^{m},91 de sondage; ce qui donne un avancement moyen de 2^{m},48 par 24 heures.

On a dépensé en tout 2.326^{f},90; d'où résulte un prix de revient de 80^{f},49 par mètre courant. Ce prix est très-élevé, en raison des difficultés exceptionnelles présentées par ces sondages au milieu des graviers de la rivière.

Sondage du Rocher-Blanc, dans les gorges de la Chiffa.

Maître sondeur : M. Emile Purtschet.

Un sondage a été exécuté par le service des mines, auprès du Rocher Blanc, dans les gorges de la Chiffa, afin d'étu-

dier la nature du sous-sol sur l'emplacement d'un barrage projeté en ce point par les ponts et chaussées.

NUMÉROS d'ordre.	DÉSIGNATION DES TERRAINS.	ÉPAISSEUR des terrains.	PROFONDEUR totale.
		mètres.	mètres.
1	Gros graviers, blocs roulés et sables	7,85	7,85
2	Rocher blanc (masse schisteuse endurcie). . .	6,50	14,35

On a dû introduire deux colonnes de tubes, à cause de la nature ébouleuse des parois.

Une première colonne de $0^m,24$ de diamètre allait à $4^m,60$ sous le sol.

Une deuxième colonne de $0^m,21$ de diamètre allait à $7^m,50$ sous le sol.

$9^{jours},17$ de 24 heures de travail ont été employés à faire les $14^m,35$ de forage; ce qui donne un avancement moyen de $1^m,56$ par 24 heures.

La dépense totale a été de $688^f,89$; ce qui porte le prix de revient à 48 francs par mètre courant.

Sondages de Sidi-Madani, dans les gorges de la Chiffa.

Maître sondeur : M. Émile Purtschet.

Deux sondages ont été exécutés auprès du Sidi-Madini, sur la rive gauche de la Chiffa, pour étudier l'assiette de deux ponts projetés sur cette rivière.

Le premier n'a traversé que des graviers et des blocs roulés sur une hauteur de $10^m,75$. Il a été tubé au diamètre de $0^m,24$ jusqu'à $5^m,50$ sous le sol. L'eau s'est tenue dans le trou de sonde à $8^m,78$ sous le sol.

Le deuxième trou de sonde a traversé les terrains suivants :

NUMÉROS d'ordre.	DÉSIGNATION DES TERRAINS.	ÉPAISSEUR des terrains.	PROFONDEUR totale.
		mètres.	mètres.
1	Blocs roulés et graviers.	7,75	7,75
2	Roche en place (marne schisteuse grise). . . .	3,44	11,19

Il a été tubé au diamètre de $0^m,24$ jusqu'à $5^m,70$ sous le sol et au diamètre de $0^m,21$ jusqu'à $7^m,15$.

L'eau s'est tenue dans le trou à $9^m,02$ sous le sol.

Les $21^m,94$ de sondage ont été exécutés en $6^{jours},24$ de 24 heures de travail, ce qui donne un avancement moyen de $3^m,51$ par 24 heures.

On a dépensé en tout $424^f,26$, ce qui donne un prix de revient de $19^f,33$ par mètre courant.

Sondages d'Orléansville, dans le lit du Chélif.

Maître sondeur : M. Clément Purtschet.

Huit sondages ont été exécutés à Orléansville dans le lit du Chélif, sur l'emplacement du pont projeté par le service des ponts et chaussées.

	PROFONDEUR.
	mètres.
Sondage n° 1.	11,75
— n° 2.	9,80
— n° 3.	5,75
— n° 4.	10,50
— n° 5.	13,40
— n° 6.	11,00
— n° 7.	7,30
— n° 8.	9,35
Total.	78,85

Ces sondages n'ont pas offert de grandes difficultés.

Les 5ᵉ et 8ᵉ n'ont traversé que des graviers, des sables et des argiles alluviennes du Chélif.

Les 3e, 6e et 7e ont traversé 5 à 6 mètres de graviers et de sables alluviens et ont pénétré plus bas dans des grès rouges quaternaires et des marnes jaunes qui supportent ces derniers.

Les 4e, 2e et 3e sondages sont connus dans les grès et marnes quaternaires.

17 jours de 24 heures de travail ont été consacrées à faire les 78^m,85 de forage, ce qui donne un avancement moyen de 4^m,64 par 24 heures.

La plupart des trous ont été tubés au diamètre de 0^m,21 et de 0^m,16, afin d'éviter les éboulements.

La dépense totale a été de 1.114 francs, ce qui donne un prix de revient moyen de 14^f,13 par mètre courant.

On n'a pas eu de prime à payer pour ces sondages.

Sondages sur la route d'Alger à Dellys.

Maître sondeur : M. Émile Purtschet.

De nombreux sondages ont été exécutés par le service des mines pour les ponts et chaussées sur l'emplacement des ponts projetés sur la route d'Alger à Dellys.

Voici leur énumération :

1° *Au pont du Hamiz.*

	PROFONDEUR. mètres.
Sondage n° 1.	12,25
— n° 2.	13,35
— n° 3.	11,25
— n° 4.	11,15

2° *Pont de l'Oued Corso.*

Sondage n° 1.	12,60
— n° 2.	16,00
— n° 3.	14,20
— n° 4.	12,55
A reporter	103,35

3° *Pont du Boudouaou (Alma).*

		PROFONDEUR. mètres.
	Report.	103,35
Sondage	n° 1.	16,00
—	n° 2.	16,15
—	n° 3.	19,50
—	n° 4.	20,35
—	n° 5.	15,45
—	n° 6.	27,60

4° *Gué du Hamiz.*

Sondage	n° 1.	18,00
—	n° 2.	18,00
—	n° 3.	18,35
—	n° 4.	18,00
—	n° 5.	18,00
—	n° 6.	9,00

5° *Pont de l'Isser.*

Sondage	n° 1.	20,00
—	n° 2.	22,00
—	n° 3.	18,00
—	n° 4.	18,00

6° *Pont de l'Oued Djema.*

Sondage	n° 1.	20,00
—	n° 2.	18,00

7° *Traille du Sebaou.*

Sondage	n° 1.	10,00
—	n° 2.	20,50
—	n° 3.	15,10

8° *Sondages Roberval sur le Sebaou.*

Sondage	n° 1.	15,30
—	n° 2.	25,00
—	n° 3.	16,25
—	n° 4.	16,50
	Total pour 33 sondages.	552,40

Les vingts premiers sondages comprennent ceux de l'Oued Hamiz, de l'Oued Corso et de l'Oued Boudouaou, situés dans la partie orientale de la plaine de la Métidja. Ils ont une longueur totale de $317^{m},75$ qui ont été exécutés en $40^{jours},83$ de 24 heures de travail, ce qui donne un avancement moyen de $7^{m},78$ par 24 heures.

Les treize derniers sondages ont été exécutés dans vallées de Isser, de l'Oued Djema et du Sebaou qui prennent leur source sur les hautes cîmes du Jurjura, et ne font pas partie du bassin de la Métidja. Ils ont une longueur totale de $234^{m},65$ qui ont été exécutés en $42^{jours},94$ de 24 heures de travail, ce qui donne un avancement moyen de $5^{m},46$ par 24 heures. Ils ont dès lors marche moins rapidement que ceux du bassin de la Métidja, et cela s'explique par les différences qui caractérisent les bassins de ces diverses rivières. Les torrents impétueux qui descendent du Jurjura ont un lit alluvien plus profond que ceux de la partie orientale de la plaine de la Métidja et les dépôts de galets y ont acquis des épaisseurs plus considérables. De là résulte plus de difficulté et par suite plus de lenteur dans les travaux de forage.

Les $552^{m},40$ comprenant l'ensemble de tous les sondages ont été creusés en $83^{jours},75$ de 24 heures de travail, ce qui donne un avancement moyen de $6,^{m}59$ par 24 heures. C'est en définitive une marche fort rapide.

La dépense totale a été de $7.633^{f},96$, ce qui fait $13^{f},82$ par mètre courant d'avancement. Elle a varié beaucoup d'un sondage à l'autre, selon la nature des terrains traversés. Ainsi, dans les argiles elle descend à 8 francs par mètre courant d'avancement, tandis que dans les graviers elle s'élève jusqu'à 35 francs par mètre courant.

Dans les vallées du Boudouaou, du Hamiz et du Sebaou, on a obtenu des eaux ascendantes. Ainsi dans la vallée du Boudouaou, au sondage n° 3, le niveau d'eau s'est élevé dans le trou de sonde de $1^{m},04$ à $0^{m},75$ sous le sol.

Dans le sondage n° 4, le niveau s'est élevé de 3^m,45 à 2^m,94 au-dessous du sol.

Dans le sondage n° 6, le niveau d'eau s'est élevé de 5^m,20 à 2^m,16 au-dessous du sol.

A 3 mètres au-dessous du sol, la source jaillissante donne 4 litres par seconde à la température de 20 degrés. Cette eau est de bonne qualité; aussi a-t-elle rendu un très-grand service aux habitants de l'Alma dont les eaux potables étaient infectées par les sauterelles mortes et ne pouvaient plus servir à l'alimentation des bestiaux. La source jaillissante a été aménagée et alimente un abreuvoir public situé sur la berge de rive gauche du Boudouaou.

Au gué du Hamiz, sur la route d'Alger au cap Matifou, dans le sondage n° 4, l'eau a jailli jusqu'au sol avec un débit de 2 litres environ par minute, à la température de 20 degrés;

Au sondage n° 5, le même fait s'est reproduit;

Au sondage n° 3 de la traille du Sebaou, le niveau de l'eau qui se tenait d'abord à 1^m,10 sous le sol s'est élevé à 1^m,30 au-dessous du sol, à la profondeur de 12^m,30.

On voit donc que les sondages de 15 à 25 mètres de profondeur, au milieu des alluvions de rivières de la province d'Alger, peuvent souvent donner des eaux potables jaillissantes ou ascendantes qui dans certains cas sont appelées à rendre de grands services aux populations riveraines.

Nous rappellerons que des sources de même nature ont été obtenues dans la vallée de l'Harrach (au gué de Constantine), dans la vallée de l'Oued Fatis, près de son confluent avec le Masafran et dans les rivières des environs de Boufarik.

Sondages sur l'emplacement du barrage de l'Oued-Djer, en amont de la plaine de la Métidja.

Maître sondeur : M. Clément Purtschet.

Des sondages ont été commencés, le 18 décembre 1866, sur l'emplacement du barrage projeté par le service des ponts et chaussées dans la vallée de l'Oued Djer, en amont du débouché de cette rivière dans la plaine de la Métidja.

Au 31 décembre 1866, on avait exécuté un sondage de 11 mètres de profondeur qui avait traversé $8^m,50$ de gros cailloux roulés et $2^m,50$ de terrain schisteux sur lequel le barrage doit être fondé.

§ II. — SONDAGES DU TERRITOIRE MILITAIRE.

Les travaux de sondage du territoire militaire avaient été suspendus le 14 avril 1864, à cause de l'insurrection qui avait éclaté à cette époque dans le Sud. D'après les ordres de M. le général de Wimpffen, commandant la province d'Alger, M. le maître-sondeur Saury s'est rendu dans le Sud en mai 1866, pour constater l'état dans lequel se trouvaient les sondages de l'Oued Kaider, de l'Oued Kourirech, d'El Mesran et d'Aïn Malakoff, et le matériel de sondage que l'on avait dû abandonner sur place au moment de l'insurrection. Il résulte de l'inventaire dressé par M. Saury que les pertes que les insurgés ont fait subir au matériel, par suite du pillage et de l'incendie, s'élèvent à la somme totale d'environ 20.000 francs.

Sondage d'Aïn Malakoff.

Le sondage d'Aïn Malakoff qui débitait $13^{lit.},58$ par seconde au moment de la cessation des travaux, le 15 décembre 1862, ne donnait en mai 1866 que $6^{lit.},61$ par se-

conde. Cette diminution de débit était causée en partie par les objets plus ou moins volumineux que les Arabes avaient introduits dans le trou de sonde, après avoir enlevé la grille qui avait été placée sur l'orifice. M. Saury a retiré des débris de peau de bouc, de câbles, d'os, de fer, de pierres jusqu'à $1^{m},50$ au-dessous de l'orifice du tube d'écoulement. Ces débris étaient tellement tassés, qu'il n'a pu débarrasser le tube plus bas faute de moyens d'action suffisants. M. Saury est retourné dans le Sud à la fin de 1866, et a pu alors complétement débarrasser le trou de sonde d'Aïn Malakoff de tous les objets qui l'obstruaient. Le débit s'est élevé alors à $7^{lit.},77$ par seconde, à $21^{\circ},50$.

Sondage de l'Oued Kaïder.

Maître sondeur : M. Saury.

Le sondage de l'Oued Kaïder qui le 31 décembre 1863, était parvenu à 160 mètres de profondeur a été suspendu, à cause de l'insurrection, le 14 avril 1864, à $178^{m},41$ de profondeur, après avoir rencontré les couches suivantes :

NUMÉROS d'ordre.	DÉSIGNATIONS DES COUCHES.	ÉPAISSEUR des couches.	PROFONDEUR des couches.	Observations.
		mètres.	mètres.	
1	Terre végétale	1,00	1,00	
2	Sable blanc quartzeux	2,30	3,30	
3	Terre végétale	1,82	5,12	
4	Sable gris en haut, jaune en bas	3,00	8,12	
5	Marne jaune	0,30	8,42	
6	Sable mélangé de petites veines de graviers	6,58	15,00	(a)
7	Marne rose avec petits cailloux	1,10	16,10	
8	Sable gris assez gros dans le haut avec petits graviers de calcaire et de silex dans le bas	2,10	18,20	
9	Marne sablonneuse mélangée de calcaire en petites couches ou rognons	7,00	25,20	
10	Graviers calcaires	0,20	25,40	
11	Marne sablonneuse mélangée de calcaire blanc en petites couches ou rognons	24,30	49,70	
12	Marne argileuse rougeâtre mélangée de petits cailloux de calcaire, quartz, silex	71,80	121,50	
13	Conglomérat de calcaire très-dur, de quartz et de silex	15,61	137,11	
14	Marne gris-jaunâtre sablonneuse dans le haut, rougeâtre, argileuse, mélangée de petits cailloux de calcaire, de quartz et de silex dans le bas	5,40	146,50	(b)
15	Poudingue	16,30	162,80	
16	Marne bleue très-grasse avec calcaire	7,05	169,85	
17	Marne bleue très-dure avec petits graviers	8,56	178,41	

(a) Première nappe ascensionnelle à 15 mètres.
Niveau d'eau — 4^{m},75.

(b) Deuxième nappe ascendante entre 146^{m},50 et 162^{m},80.
Niveau d'eau — 15^{m},80.

Une première nappe alimentée par les eaux d'infiltration superficielle a été rencontrée dans le trou de sonde à 5^{m},12 au-dessous du sol dans la couche de sable gris n° 4. Puis le niveau s'est légèrement relevé lorsque le sondage est parvenu à 15 mètres à la base de la couche de sable n° 6. A partir de là, il s'est maintenu en moyenne à 4^{m},75 au-dessous du sol dans le puits de service et le trou de sonde. Il est donc probable qu'on a rencontré à 15 mètres une première nappe ascendante, la même sans doute qu'on a trouvée au sondage d'Aïn Malakoff à 18 mètres de profondeur.

Depuis le mois de mars jusqu'au mois de mai 1863, la

température de cette eau a augmenté de 16 à 17 degrés. La densité de l'eau était de 1,0057, ce qui correspond à un poids total de matières salines d'environ 5^{gr},70 par kilogrammes d'eau. On voit donc qu'elle est très-médiocre pour les divers usages domestiques.

Lorsque la colonne de garantie de 0^{m},19 de diamètre a été poussée au-dessous de 144 mètres au delà de la couche de marne n° 14, le niveau de l'eau a baissé considérablement dans le trou de sonde et s'est maintenu en définitive à 15^{m},80 au-dessous du sol. Cette dénivellation est due probablement à la rencontre d'une nouvelle nappe ascendante, circulant dans la couche de poudingue, n° 14.

Si l'on compare les coupes des sondages d'Aïn Malakoff et de l'Oued Kaïder, on voit que jusqu'à la profondeur de 49^{m},70, pour l'Oued Kaïder, et celle de 43^{m},70 pour l'Aïn Malakoff, une épaisse assise de sables aquifères vient après une couche de marne sablonneuse de 25^{m},20 d'épaisseur. A l'Oued Kaïder, après une couche de marne sablonneuse de 24^{m},30 d'épaisseur, vient une grande couche de 71^{m},80 d'épaisseur formée de marne rougeâtre mélangée de graviers et qui est imperméable aux eaux. Elle recouvre jusqu'au fond du sondage une alternance de marnes et de conglomérats. Il se peut que la grande couche de marne graveleuse de 71^{m},80 d'épaisseur ne soit qu'une manière d'être particulière des bancs de sables aquifères d'Aïn Malakoff. Dès lors, la belle nappe jaillissante d'Aïn Malakoff n'existerait pas à l'Oued Kaïder.

La marne bleue très-grasse de la couche n° 16 commençant à 169^{m},85 dans le sondage de l'Oued Kaïder est identique d'aspect à celle qui se trouve dans le sondage de Chabounia entre 200 et 300 mètres de profondeur et qui renferme des fossiles pliocènes bien caractérisés déterminés par M. Deshayes dont le monde savant apprécie les beaux travaux conchyliologiques. Aussi sommes-nous porté à penser que la partie inférieure du sondage de l'Oued Kaïder

a pénétré dans le terrain pliocène qui affleure, du reste, autour du rocher de sel de Rang-el-Melah.

Les marnes pliocènes de Chabouniah n'ayant pas donné de l'eau jaillissante, bien qu'elles aient été traversées sur 307 mètres d'épaisseur entre 78^{m},18 et 380^{m},18, il nous a paru inutile de pousser beaucoup plus bas le sondage de l'Oued Kaïder. Aussi l'autorité militaire adoptant cette manière de voir a ordonné l'abandon des travaux d'approfondissement.

Voici quelle a été la marche des travaux :

Un puits de service de 5^{m},12 de profondeur et de 2 mètres de côté est creusé pour faciliter les manœuvres de sondage. On place immédiatement une colonne de 0^{m},33 de diamètre qui ne peut dépasser 15 mètres, tandis que le sondage atteint 18 mètres.

On passe alors à la colonne de 0^{m},30 qui descend à 27^{m},10 à la tête de la couche de marne n° 11. On continue sans tuber jusqu'à 53 mètres; puis on descend la colonne de 0^{m},27 dont la base s'arrête à 57^{m},45 dans la couche de marne rougeâtre n° 12, tandis que le sondage atteint 84 mètres. Des éboulements forcent alors d'introduire la colonne de 0^{m},23. On retire les 15 mètres de la colonne de 0^{m},33 et l'on essaye de retirer la colonne de 0^{m},30 qui descend à 27^{m},10. Elle se rompt à 2 mètres au-dessous du niveau de l'eau dans le puits de service et il en reste 20^{m},35 dans le trou de sonde. La colonne de 0^{m},23 est poussée progressivement à 130 mètres; mais elle refuse d'aller plus bas, malgré des efforts énergiques exercés avec quatre vis de pression, le treuil et de fortes moufles en fonte. Le forage se trouvait alors à 146^{m},51, le 24 mai 1863 et dut être suspendu faute de tubes de 0^{m},19 de diamètre.

Le travail fut repris le 20 novembre 1863. Les éboulements avaient comblé le trou sur 10 mètres à partir du fond. On cure le trou, on descend la colonne de 0^{m},19 à 144 mè-

tres et l'on continue le sondage au milieu de la couche de poudingue n° 15 de 16m,80 d'épaisseur. La dureté de cette roche rend le travail très-pénible et très-lent. Parfois le trépan est fortement coïncé au fond du trou de sonde. A 152 mètres de profondeur, la sonde se brise en deux tronçons et on les retire à grand'peine avec la cloche à vis. Entre 160m,60 et 163m,40, on approfondit le trou sans que la cuiller rapporte aucun détritus. Le niveau de l'eau restant constant dans le trou de sonde, il est probable que la sonde a traversé une excavation irrégulière dans laquelle se logent les débris de poudingue broyé par le trépan. La couche de marne bleue, très-grasse, n° 13, qui vient après retient avec une grande adhérence les lames du trépan, et chaque fois l'on doit développer des efforts très-énergiques pour dégager la sonde. Des éboulements fréquents empêchent le forage d'avancer au delà de 170m,15. La colonne de 0m,19 ne peut descendre au delà de 144 mètres, parce qu'il est impossible d'élargir suffisamment le trou au-dessous de la base de la colonne avec le trépan à oreilles mobiles. Le poudingue est tellement dur qu'il reste toujours des aspérités qui s'opposent à la descente des tubes. On procède alors au retrait de ces derniers, le 21 février 1863, afin d'élargir plus commodément le trou au diamètre de 0m,23. On saisit la colonne de 0m,19 avec le rivoir et on fait effort pour l'enlever avec les vis, les moufles et la grande roue qui a remplacé le treuil. La colonne se brise à 49 mètres du sol et on relève au jour 45 mètres, parce que la tête de la colonne était dans le puits de service à 4 mètres sous le sol. On descend le rivoir à la profondeur de 52 mètres pour retirer le deuxième tronçon. Les journées des 22, 23 et 24 janvier 1864, se passent en efforts inutiles. La glissière se rompt : on parvient à enlever le rivoir avec les tiges en bois. On remplace ces dernières par des tiges en fer de 0m,04 de côté. On saisit la colonne par le pied avec le rivoir et on la monte avec effort jusqu'au sol. On cure et

on élargit le trou avec le trépan de 0m,23. Le 7 mars on redescend la colonne de 0m,19. Le 26 elle est arrivée à 168 mètres et l'on reprend le forage qui, le 14 avril, était parvenu à 178m,41, tandis que la colonne de 0m,19 était à 177m,55. Sur l'ordre de M. le général Jusuf, les travaux sont suspendus, à cause de l'insurrection. Une partie du matériel est transportée dans le magasin d'El Mesran et le détachement quitte l'Oued Kaïder le 16 avril 1864 pour se rendre à Boghar où il arrive sans accident. Jusqu'à la profondeur d'environ 30 mètres, on a employé la tarière mue par des tiges de fer de 0m,04 de côté pour le passage des terrains tendres; mais à partir de 30 mètres, on n'a employé que le trépan à chute libre de Kind.

Le sondage de l'Oued Kaïder a présenté deux périodes bien distinctes. Du 22 mars au 24 mai 1863, le travail a marché presque sans interruption et d'une manière très-régulière. Il était parvenu alors à 146m,51 au diamètre de 0m,23 en 55jours,50 de 24 heures de travail effectif. Cela donne un avancement moyen de 2m,64 par 24 heures, pose des tubes comprise.

Dans la deuxième période qui va du 20 novembre 1863 au 14 avril 1864, on a fait 31m,90 en 110jours,50 de 24 heures de travail, ce qui donne un avancement moyen de 0m,29 par 24 heures, pose des tubes comprise.

En réunissant les deux périodes, on trouve que les 178m41 de sondage ont été faits en 166 journées de travail, ce qui donne un avancement moyen de 1m,07 par 24 heures.

Le prix de revient du sondage de l'Oued Kaïder peut être établi comme il suit, en ne tenant compte que des dépenses afférentes aux travaux de sondage, tubage compris :

	fr.	
Prime à M. Kind.	1.313,60	18.302f,58
Main-d'œuvre militaire.	5.954,37	
Traitement du maître sondeur. . . .	3.612,25	
Fournitures et indemnités diverses. .	3.200,81	
Transports.	4.211,55	

Tubes de retenue nécessaires à l'exécution du sondage.

mètres.		mètres.		fr.	
20,35	de tubes de	0,30	de diamètre.	604,49	7.850f,31
56,00	—	0,27	—	1.478,40	
124,00	—	0,23	—	2.728,00	
172,00	—	0,19	—	3.039,52	
Prix de revient total pour 178m,41 de sondage.					26.152f,89

Ce qui donne un prix de revient de 146f,59 par mètre courant. Si l'on ne tient pas compte de la valeur des tubes laissés dans le trou, ce prix de revient est de 102f,59 par mètre courant. Si de plus, on néglige le prix des transports qui est très-élevé, le prix de revient se trouve réduit à 78f,92 le mètre courant.

L'abandon du sondage de l'Oued Kaïder ayant été décidé par M. le général de Wimpffen, commandant la province d'Alger, M. le maître sondeur Saury a procédé, du 1er au 20 novembre 1866, à l'extraction des tubes de retenue laissés dans le trou de sonde. Cette opération n'a réussi qu'imparfaitemeut et avec de grandes difficultés. On a essayé sans succès d'enlever la colonne de 0m,19 en entier. Après plusieurs coupures horizontales, on a retiré enfin un tronçon de 125 mètres de longueur. De même, on a dû faire plusieurs coupures horizontales à diverses hauteurs dans la colonne de 0m,23, et l'on n'a pu retirer qu'un tronçon de 59 mètres de longueur. Les 56 mètres de la colonne de 0m,27 de diamètre ont été retirés, mais on a dû abandonner les 20m,85 de tubes de 0m,20 de diamètre.

En définitive, on a dû abandonner dans le trou de sonde de l'Oued Kaïder :

mètres.		mètres.	
20,35	de tubes de	0,30	de diamètre.
66,00	—	0,23	—
45,00	—	0,19	—

Sondage d'El-Mesran.

Maître sondeur : M. Saury.

Le sondage d'El Mesran avait été suspendu en mars 1863 à la profondeur de 45^m,70, par suite de la rencontre d'une couche de sables aquifères qui étaient remontés de 10 mètres dans les tubes, et dont il avait été impossible de vaincre l'affluence malgré des curages répétés. M. le général Jusuf, commandant la division d'Alger, nous avait antorisé en 1863 à conserver le sondage d'El Mesran comme un objet d'expérience. On pouvait espérer, en effet, que l'eau ascendante, venant de la profondeur de 45^m,75 et s'arrêtant à 5^m,85 sous le sol, serait en été meilleure que celle des puits ordinaires d'El Mesran qui fournissent alors de l'eau saumâtre complétement impotable; mais les insurgés de 1864 ont comblé ce puits sur toute sa hauteur, et en raison des dépenses qu'il eût fallu faire pour le curer à nouveau, M. le général de Wimpffen, commandant la province d'Alger, a décidé en 1864, sur notre proposition, qu'on ne ferait aucune tentative pour retirer les colonnes qui maintiennent les parois du trou de sonde.

La nappe ascendante trouvée à El Mesran à 45^m,70 paraît correspondre par sa température et sa position à la nappe ascendante trouvée à Aïn Malakoff à 18 mètres de profondeur. Si à 18 mètres l'on ajoute 21 mètres, différence de niveau comprise entre les deux sondages, on trouve, en effet, 39, nombre qui diffère peu de 45^m,70. La différence 45^m,70 — 39^m = 6^m,70 s'explique par les différences d'épaisseur que peuvent présenter les mêmes couches en deux points différents.

La couche de calcaire blanc friable farineux de 1^m,30

d'épaisseur, trouvée dans le sondage d'El Mesran à $29^m,53$ sous le sol, est probablement très-gypseuse, et c'est ce qui lui donne sans doute le type farineux indiqué par le journal de sondage. Aussi cette couche, qui recouvre les sables inférieurs d'El Mesran, peut être assimilée à la couche de gypse de $0^m,50$ d'épaisseur qui se trouve à $15^m,50$ sous le sol dans le sondage d'Aïn Malakoff. Cette hypothèse rend parfaitement comparables les coupes des sondages d'El Mesran et d'Aïn Malakoff. Les couches supérieures d'El Mesran manquent à Aïn Malakoff, par suite de la dénudation du terrain qui a produit la cuvette du Zahrez Rharbi et qui a donné lieu à la différence de niveau de 21 mètres existant entre El Mesran et Aïn Malakoff. De part et d'autre, la couche de gypse ou de calcaire gypseux est recouverte par une épaisse couche de marne surmontée par des sables. Au-dessous du gypse viennent les sables aquifères. Seulement à Aïn Malakoff, ces sables n'ont que $2^m,50$ d'épaisseur, tandis qu'à El Mesran on les a traversés sur $14^m,87$, et qu'on n'est pas encore arrivé à leur base. Si la distance qui sépare la nappe jaillissante de la nappe ascendante était la même à El Mesran qu'à Aïn Malakoff, on devrait descendre à El Mesran à $108^m,90$ au moins pour avoir de l'eau jaillissante; mais les couches supérieures d'Aïn Malakoff présentent à El Mesran une plus grande épaisseur. Si cette loi se maintient aussi en profondeur, on doit craindre que l'eau jaillissante ne se trouve à El Mesran qu'à une profondeur d'environ 150 mètres.

Quoi qu'il en soit, il nous paraît incontestable que les deux sondages d'El Mesran et d'Aïn Malakoff appartiennent à la même cuvette artésienne. D'après la nature minéralogique des couches traversées dans les deux sondages et la composition chimique des eaux, soit ascendantes, soit jaillissantes, il est probable que ces deux sondages se trouvent contenus dans les terrains quaternaires du Zahrez Rharbi.

Le prix de revient du sondage d'El Mesran peut être

établi comme il suit, en ne tenant compte que des dépenses faites pendant les travaux de sondage et les tentatives de désensablement du trou de sonde.

	fr.	
Prime à M. Kind.	457,00	4.071f,24
Main-d'œuvre militaire et surveillance.	1.465,80	
Traitement du maître sondeur. . . .	900,00	
Indemnités et fournitures diverses. .	422,35	
Transport du matériel entre Aïn Malakoff et El Mesran.	826,09	

Tubes de retenue laissés dans le trou de sonde :

mètres.		mètres.		fr.	
13,00	de tubes de	0,33	de diamètre.	429,00	2.328f,70
22,20	—	0,30	—	658,90	
39,50	—	0,27	—	1.042,80	
9,00	—	0,23	—	198,00	
Prix de revient total pour 45m,70 de sondage. . .					6.399f,94

Ce qui donne un prix de revient de 140 francs par mètre courant d'avancement. Ce prix est très-élevé, à cause des dépenses entraînées par les tentatives infructueuses de désensablement et les frais de transport. Si l'on ne tient pas compte de la valeur des tubes laissés dans le trou de sonde, le prix de revient est de 89f,08 par mètre courant, et si, comme à l'Oued Kaïder, l'on néglige également les frais de transport, le prix de revient se trouve réduit à 71f,01.

Sondage de l'Oued Kourirech.

Maîtres sondeurs : MM. Saury, Pomery et Heuga.

Le sondage de l'Oued Kourirech a été exécuté au diamètre initial de 0m,35, auprès du confluent de l'Oued Kourirech dans le Zahrez Rharbi, à 30 kilomètres O.-S.-O. du sondage d'Aïn Malakoff. Commencé le 18 juin 1863, il était parvenu le 31 décembre 1863 à la profondeur de 104m,28, et il a été suspendu le 14 avril 1864 à la profon-

deur de $173^m,25$, à cause de l'insurrection qui a éclaté à cette époque dans le Sud. En abandonnant le chantier, on avait eu soin de fermer hermétiquement le trou de sonde avec de lourds outils de sondage. Aussi les insurgés n'ont pu commettre de dégâts que parmi le matériel laissé hors du trou de sonde. Celui-ci a été forcément respecté par eux et il a été facile à M. le maître sondeur Saury d'aménager en décembre 1866 la nappe jaillissante qui a été trouvée au fond du sondage.

Voici la série des couches traversées :

NUMÉROS d'ordre.	DÉSIGNATION DES COUCHES.	ÉPAISSEUR des couches.	PROFONDEUR des couches.	Observations.
		mètres.	mètres.	
1	Terre végétale.	0,50	0,50	
2	Sable jaune.	1,10	1,60	
3	Marne rougeâtre gypseuse et sableuse. .	1,50	3,10	
4	Sable blanc.	2,60	5,70	
5	Marne rougeâtre et cristaux de gypse. . .	20,30	26,00	
6	Sable blanc.	1,00	27,00	
7	Marne rougeâtre gypseuse, très-dure. . .	6,17	33,17	
8	Gypse rosâtre et grisâtre dans le haut, blanc, très-dur dans le bas.	27,83	61,00	
9	Marne grasse gypseuse et sablonneuse. .	1,80	62,80	
10	Gypse blanc très-dur.	10,62	73,52	
11	Marne grasse verdâtre et gypseuse dans le haut, brune, très-grasse et chargée de petits grains de gypse dans le bas. .	9,28	82,80	
12	Gypse un peu argileux.	22,20	105,00	
13	Marne rouge très-grasse avec petits cristaux de gypse.	4,80	109,80	
14	Gypse blanc très-dur.	9,58	119,38	
15	Marne grasse gypseuse.	0,92	120,30	(a)
16	Gypse blanc mélangé de marne dans le haut, graveleux dans le bas.	8,91	129,21	
17	Marne rouge très-grasse.	8,29	137,50	
18	Gypse blanc mélangé de marne.	3,50	141,00	
19	Marne rouge grasse, gypseuse dans le haut, sableuse et graveleuse dans le bas.	11,30	152,30	(b)
20	Graviers et sables.	5,50	157,80	
21	Marne rougeâtre, graveleuse et sableuse.	15,45	173,25	

(a) Première nappe ascendante à $128^m,55$
Niveau d'eau. . . . . — $1^m,34$
Température de l'eau. . . . . $15°,50$

(b) Première nappe jaillissante à $152^m,60$.
Débit : 40 litres par minute.
Température de l'eau : 21 degrés.

La première eau d'infiltration superficielle a été trouvée dans le trou de sonde à $2^m,70$ sous le sol, dans la couche

de marne sableuse n° 3. Sa température était de 17 degrés, le 17 juin 1863, celle de l'air extérieur étant de 38 degrés. Sa densité était de 1,0048 et correspondait approximativement à 4^{gr},80 de matières salines par kilogramme d'eau. C'est donc une eau de même nature que les eaux d'infiltration de l'Oued Kaïder et d'El Mesran. Le niveau de l'eau dans le trou de sonde a oscillé entre 2^{m},70 et 2^{m},45 jusqu'à la profondeur de 128^{m},55. A partir de ce point, le niveau d'eau s'est élevé dans le trou de sonde à 1^{m},26 et s'est tenu en moyenne à 1^{m},34 sous le sol, à la température de 15°,50. On a donc rencontré ici une première nappe ascendante à la base de la couche de gypse graveleux n° 16.

Le niveau d'eau s'est relevé de nouveau quand le sondage est parvenu à 152^{m},30 à la tête de la couche de graviers et de sables n° 20. Il s'est maintenu à 0^{m},80 sous le sol. On a fait une tranchée d'un mètre environ de profondeur pour donner écoulement à l'eau jaillissante dont le débit était, le 14 avril 1864, de 40 litres par minute à 21 degrés. A la fin de décembre 1866, M. le maître sondeur Saury a retiré les outils de sondage qui avaient été laissés dans le trou de sonde au moment de l'insurrection de 1864, et après avoir nettoyé le fond du trou de l'argile rougeâtre qui l'obstruait, il a porté le débit de 9^{lit},60 par minute à 37 litres par minute. La température de l'eau jaillissante, qui était de 21 degrés au moment de la cessation des travaux, le 14 avril 1864, était de 24°,50 le 26 décembre 1866. Cette dernière température est plus en harmonie que la première avec la profondeur d'où jaillissent les eaux ; car le 26 septembre 1866, M. Saury a trouvé 21°,50 pour la température de l'eau jaillissante d'Aïn Malakoff venant de la profondeur de 81^{m},20. Il est probable que la première température de 41 degrés, observée pour l'eau jaillissante de l'Oued Kourirech le 24 avril 1864, vient de ce que cette eau, en raison de son faible débit, avait été notablement refroidie dans son parcours à travers les tubes de retenue en tôle;

à la longue, ces derniers se sont échauffés par le passage de l'eau qui, en définitive, présente aujourd'hui une température de 24°,50 au niveau du sol.

L'eau du sondage de l'Oued Kourirech, recueillie en mai 1866, a présenté la composition suivante :

	gr.	gr.
Potasse	»	
Soude	0,7649	1,4228
Chaux	0,4816	
Magnésie	0,1583	
Oxyde de fer	0,0180	
Acide chlorhydrique	0,9255	1,8455
Acide sulfurique	0,8379	
Acide carbonique (combiné)	0,0702	
Silice	0,0100	
Matière organique		Ind.
Poids total par kilogramme d'eau		3,2683

Ou bien en combinant les bases aux acides, selon les affinités probables :

	gr.
Chlorure de sodium	1,4431
Chlorure de magnésium	0,0331
Total des chlorures	1,4762
Sulfate de chaux	0,9792
— de magnésie	0,3999
Total des sulfates	1,3791
Carbonate de chaux	0,1400
— de magnésie	0,0166
Total des carbonates	0,1566
Peroxyde de fer	0,0180
Silice gélatineuse libre	0,0100
Matière organique	Indét.
Total des sels anhydres par kilogramme d'eau	3,0399
Si l'on ajoute l'eau correspondant à l'acide chlorhydrique, soit	0,2284
On retrouve comme ci-dessus	3,2683

L'eau du sondage de Kourirech, quoique laissant à désirer comme qualité pour les divers usages de l'économie domestique, est cependant meilleure que celle d'Aïn Malakoff, qui renferme $4^{gr},1465$ de matières salines par kilogramme d'eau (en décembre 1862). Elle établit le passage entre cette dernière et celle de Mocta Djedean, située dans l'intérieur du Zahrez Rharbi, près de son extrémité orientale, et qui renfermait $2^{gr},2018$ de matières salines par kilogramme d'eau, le 22 mai 1858.

Si l'on compare les coupes des sondages de l'Oued Kourirech, d'Aïn Malakoff et de l'Oued Kaïder, on reconnaît que la succession des couches de l'Oued Kourirech, depuis la profondeur de $33^{m},17$ jusqu'au sol, est presque entièrement semblable à celle d'Aïn Malakoff entre $43^{m},70$ et le sol et à celle de l'Oued Kaïder entre $49^{m},70$ et le sol. Dans les trois sondages, il y a une grande couche de marne de 25 à 32 mètres d'épaisseur au-dessus de laquelle il y a quelques alternances de couches minces de sables et de marnes. Les différences deviennent au contraire très-notables au-dessous de la grande couche de marne qui sert de terme de comparaison.

A Kourirech, il y a une succession de couches de marnes gypseuses et graveleuses et de gypses parfois purs et d'autres fois marneux et graveleux. Cela rappelle les coupes de plusieurs sondages de l'Oued Rhir en plein terrain quaternaire.

A Aïn Malakoff, l'on n'a traversé que des sables graveleux sur 37 mètres d'épaisseur.

A l'Oued Kaïder, on remarque une grande couche de marne graveleux de 71 mètres 80 d'épaisseur sous laquelle vient une succession de couches de conglomérats et de marnes graveleuses. Si ces trois systèmes de couches appartiennent à la même formation géologique et déterminent un même horizon stratigraphique, on voit que le caractère minéralogique des roches diffère très-notablement d'un

sondage à l'autre pour une même couche, et c'est alors ce qui rend compte de la grande différence existant entre le régime des eaux souterraines de ces trois sondages.

Quoi qu'il en soit, la coupe du sondage de Kourirech montre que le terrain est ici favorablement disposé pour donner des eaux jaillissantes, et qu'en allant plus profondément, on aurait des chances de trouver une nappe plus abondante que celle à laquelle on s'est arrêté.

Les trois sondages d'El Mesran, d'Aïn Malakoff et de l'Oued Kaïder (partie supérieure) peuvent être considérés comme appartenant à la même cuvette artésienne.

La partie inférieure du sondage de l'Oued Kaïder nous paraît appartenir à une cuvette différente, parce que les roches semblent plutôt être tertiaires que quaternaires. On est donc dans l'inconnu au point de vue des chances d'y trouver de l'eau jaillissante, parce qu'on ne sait pas qu'elles sont sous l'aplomb de l'Oued Kaïder les allures des couches tertiaires.

Le sondage de l'Oued Kourirech présente dans sa partie inférieure un régime des eaux souterraines et une succession des couches qui diffèrent de ceux du sondage d'Aïn Malakoff. Cela permet de croire qu'il appartient à une cuvette artésienne différente des précédentes. On retrouverait ainsi dans le bassin du Zahrez Rharbi cette indépendance de cuvettes artésiennes que nous avons signalée dans le Hodna et le Sahara oriental. Il est probable que le bassin de l'Oued Hadjia correspond aussi à une autre cuvette artésienne; car l'eau de la source jaillissante naturelle d'Hamia Chergui diffère beaucoup, par sa composition chimique, de l'eau jaillissante d'Aïn Malakoff et de l'eau de la source jaillissante naturelle d'Hamia Rharbia.

Voici quelle a été la marche du sondage de l'Oued Kourirech.

On creuse un puits de service de 2^{m},70 de profondeur et de 2 mètres de côté, jusqu'à la rencontre d'une première

nappe d'infiltration d'eau douce, à la température de 17 degrés, celle de l'air ambiant étant de 38 degrés. On commence le forage à la tarière, et l'on descend 6 mètres de tubes de $0^m,33$ de diamètre qui s'arrêtent à $6^m,50$ sous le sol. On continue sans tuber jusqu'à 26 mètres. La tarière ne ramenant pas les sables de la couche n° 6, on descend la colonne de $0^m,30$, que l'on pousse graduellement jusqu'à $34^m,50$, tandis que le sondage atteint $69^m,20$ dans la couche de gypse n° 10. On passe alors à la colonne de $0^m,27$ de diamètre, et on lui fait suivre de près le fond du sondage. Elle était parvenue à 170 mètres lorsque le sondage fut arrêté subitement à $173^m,25$, par suite de l'insurrection arabe.

Dans la première période de travail allant du 18 juin au 5 juillet 1863, on a fait 55 mètres en $16^{jours},50$ de 24 heures de travail; ce qui donne un avancement moyen de $3^m,33$ par 24 heures, pose des tubes comprise. Les 30 premiers mètres composés de marnes et de sables rougeâtres ont été creusés avec la tarière et la langue de serpent, à raison de $5^m,45$ en moyenne par 24 heures de travail. Les 25 mètres suivants composés de gypse dur ont été creusés avec le trépan à chute libre de Kind, à raison de $2^m,27$ par journée de 24 heures de travail.

Les travaux ont chômé du 5 juillet au 6 novembre 1863, Alors commence une nouvelle période de travail qui dure jusqu'au 14 avril 1864. Dans cette deuxième période, on a fait $117^m,75$ de forage, à l'aide de l'outil à chute libre de Kind, en 118 journées de 24 heures de travail; ce qui donne un avancement moyen de $0^m,998$, soit 1 mètre par 24 heures.

Pour faire les $173^m,25$ de forage, on a employé $134^j,50$; ce qui donne, en définitive, un avancement moyen de $1^m,28$ par 24 heures de travail.

Dans la deuxième période, le forage a marché beaucoup plus lentement que dans la première, à cause de la dureté

de la roche et des manœuvres fréquentes qu'il a fallu faire subir à la colonne de 0^{m},27 de diamètre, pour qu'elle accompagnât d'aussi près que possible le fond du trou de sonde. La descente de cette colonne ne s'est pas faite sans difficultés. La roue d'engrenage s'est fendue une première fois, ce qui a motivé une suspension de travail de 4 jours. Une nouvelle rupture de cette roue a motivé une deuxième suspension de travail. On a remplacé l'engrenage de l'Oued Kourirech par l'engrenage de l'Oued Kaïder, et ce dernier a été remplacé par la grande roue en bois qui avait servi au sondage de Chabouniah. Il est résulté de là de nombreuses pertes de temps.

Le prix de revient du sondage de l'Oued Kourirech peut être établi approximativement comme il suit :

	fr.	
Prime à M. Kind.	500,00	13.911f,58
Main-d'œuvre militaire et surveillance.	5.846,47	
Traitement du maître sondeur. . . .	2.343,50	
Indemnités et fournitures diverses. .	3.095,38	
Transports.	2.490,58	

Tubes de retenue laissés dans le trou :

6,00 de tubes de	0,33 de diamètre.		198,00	5.637f,40
33,00	—	0,30	—	980,00	
168,90	—	0,27	—	4.459,40	
Prix de revient total pour 173m,25 de sondage. .				19.548f,98

Ce qui donne un prix de revient de 112f,83 par mètre courant.

Si l'on ne tient pas compte de la valeur des tubes laissés dans le trou, ce prix de revient est de 80f,29 par mètre courant. Si, de plus, on néglige le prix des transports, le prix de revient se trouve réduit à 65f,92 par mètre courant.

Alger, le 26 janvier 1867.

INFLUENCE

DE LA PROPORTION DES FONDANTS SUR LES PRODUITS DES HAUTS FOURNEAUX.

Par M. MOULINE.

On sait depuis longtemps que pour obtenir de la bonne fonte au coke de première fusion, il faut au haut fourneau un excès de castine. Néanmoins il peut être intéressant de connaître l'influence qu'un changement graduel du lit de fusion peut exercer sur la nature des produits. C'est le motif qui m'engage à publier les notes suivantes qui m'ont été fournies, dans ce but, par M. Mouline, ingénieur de l'usine de Sougland. L. G.

Un haut fourneau que M. Mouline était chargé de diriger recevait, avant son arrivée :

	kilog.
Coke.	680
Minerai oolitique calcaire du lias.	600
Minerai argileux en grains (tertiaire).	400
Castine.	320

La fonte produite ne pouvait servir en première fusion. Les tuyaux coulés cassaient par simple retrait. La résistance de la fonte était faible. Sa texture grossière et à grains brillants.

L'analyse des laitiers donna :

Silice.	43,0	100
Alumine.	16,2	
Chaux.	40,8	

Je fus convaincu, dit M. Mouline, d'après cette analyse, que la faible ténacité de la fonte provenait de ce que, la silice n'étant pas assez neutralisée, une partie se réduisait, et que le silicium, qui a au moins autant d'affinité pour le fer que le carbone, tendait à se substituer à ce dernier.

Sans changer le poids des minerais, j'augmentai la dose de castine et je fis faire les charges suivantes :

Coke.	Minerai oolitique.	Minerai en grains.	Castine.
680	600	400	350

La fonte qui en provint fut employée à couler des tuyaux ; la plupart réussirent. La fonte en barreaux, examinée dans sa cassure fraîche, était à grains plus foncés qu'avec l'ancien mélange ; sa résistance avait sensiblement augmenté.

Les laitiers avaient la composition suivante :

Silice.	41	100
Alumine.	16	
Chaux.	43	

Ce premier résultat me montra que l'insuccès devait être attribué à la trop petite quantité de calcaire.

Je continuai mes essais dans ce sens et je fis les charges suivantes :

Coke.	Minerai oolitique.	Minerai en grains.	Castine.
680	600	400	400

Avec la fonte produite, on put couler des tuyaux dans d'excellentes conditions de prix de revient, puisque la différence avec la seconde fusion était de 3 francs par 100 kilog. La fonte était de plus en plus résistante et à grains fins, mais noirs ; elle fléchissait un peu sous le marteau avant de rompre.

Les laitiers avaient la composition suivante :

Silice	40	100
Alumine	15	
Chaux	45	

Persuadé que j'étais dans la bonne voie et voyant l'influence de la castine sur la qualité des produits, je résolus de poursuivre mes expériences.

Je composai le lit de fusion de la manière suivante :

Coke.	Minerai oolitique.	Minerai en grains.	Castine.
680	600	400	430

Les charges composées ainsi donnèrent une fonte très-grise, à grains moyens très-noirs, les laitiers étaient chargés de graphite. C'était une véritable fonte n° 2 pour deuxième fusion.

Les tuyaux essayés en première fusion ne réussirent pas ; il y avait des endroits tellement graphiteux qu'on perçait les tuyaux avec un couteau en voulant enlever les paillettes de graphite.

La composition des laitiers était la suivante :

Silice	38,7	100
Alumine	14,3	
Chaux	47,0	

Voulant arriver à la limite extrême pour la chaux, je fis les charges ci-après :

Coke.	Minerai oolitique.	Minerai en grains.	Castine.
680	600	400	460

La fonte obtenue avec ce lit de fusion était excessivement graphiteuse et à gros grains noirs ; sa résistance s'était accrue très-notablement. C'était en un mot de la bonne fonte n° 1 pour deuxième fusion.

Les laitiers étaient composés de

Silice.	36,8	100
Alumine.	13,6	
Chaux.	49,6	

Ces derniers produits, surchargés de graphite, tombaien littéralement en poussière en se figeant; on n'avait pas besoin de les asperger d'eau.

La fonte, lors des coulées, était un peu pâteuse, et le creuset se regarnissait complétement. J'en augurai que j'étais arrivé pour la fonte de deuxième fusion à la limite, soit comme poids de charge, soit comme composition du mélange.

Là se bornèrent mes essais pour la fonte de seconde fusion; je m'occupai de revenir à la fonte de première fusion, en portant la charge à son maximum au point de vue de l'économie de combustible.

Pour cela je repris la charge :

Coke.	Minerai oolitique.	Minerai en grains.	Castine.
680	600	400	430

qui m'avait donné une fonte grise et limailleuse, et j'augmentai progressivement la mine oolitique jusqu'au chiffre de 680 kilogrammes, sans toucher à la castine, afin d'arriver à un bon dosage pour la fonte de première fusion.

La fonte obtenue put servir parfaitement à couler tous les tuyaux et diverses pièces de moulage; elle était peu graphiteuse et d'une liquidité satisfaisante.

Les laitiers avaient la composition suivante :

Silice.	39,6	100
Alumine.	14,9	
Chaux.	45,5	

Divers essais que je tentai pour augmenter la charge, ne me réussirent pas. La fonte passant assez facilement du gris au truité gris et même au truité blanc, me donna la conviction qu'il y avait surcharge pour le produit que j'avais en vue.

Je dus revenir à la charge :

Coke.	Minerai oolitique.	Minerai en grains.	Castine.
680	680	400	430

qui, bien surveillée, me donna toujours de bons résultats comme fonte de première fusion.

Dans le chiffre de 680 de coke, le déchet de halle est compris pour un dixième.

Je vais maintenant montrer, sous forme de tableau, l'influence d'un bon dosage sur la nature du produit, en signalant les charges qui m'ont donné de bons résultats.

COMPOSITION DES CHARGES.					NATURE de la fonte.	EMPLOI de la fonte.	LAITIERS.	COMPOSITION DES LAITIERS.			
Coke.	Minerai oolitique.	Minerai en grains.	Castine.	Total.				Silice.	Alumine.	Chaux.	Total.
680	600	400	320	1,320	Grise à grains moyens et brillants. Absence de paillettes de graphite sur la fonte.	Ne vaut rien pour la 1re fusion et ne peut s'employer qu'en petite quantité en 2e fusion, et avec des fontes supérieures.	Blancs bleuâtres, s'étirant en longs fils. Pas de paillettes de graphite sur les laitiers.	43,0	16,2	40,8	100
680	600	400	350	1,350	Grise à grains fins, assez foncés. Pas de paillettes de graphite sur la fonte.	Réussit en partie en 1re fusion, serait bonne, employée en 2e fusion pour des moulages bien ordinaires.	Blancs bleuâtres, s'étirant en fils moins longs que précédemment. Pas de paillettes de graphite sur les laitiers.	41,0	16,0	43,0	100
680	600	400	400	1,400	Grise n° 3 à grains fins noirs. Les paillettes de graphite commencent à se montrer sur la fonte.	Excellente pour la 1re fusion. On peut couler toutes les pièces sans exception.	Blancs un peu jaunâtres, s'étirant peu en fils. Les paillettes de graphite apparaissent par intervalles sur les laitiers.	40,0	15,0	45,0	100
680	680	400	430	1,510	Grise n° 3 à grains fins noirs. Il y a peu de graphite sur la fonte qui est de même qualité que la précédente.	Bonne pour la 1re fusion pour n'importe quelles pièces. *Limite supérieure de la charge pour la 1re fusion.*	Blancs jaunâtres, s'étirant peu en fils. Très-peu de paillettes de graphite sur les laitiers.	39,6	14,9	45,5	100
680	600	400	430	1,430	Grise n° 2 à grains moyens noirs. Les paillettes de graphite sont assez abondantes sur la fonte.	Ne réussit pas en 1re fusion. Peut s'employer seule pour la 2e fusion, n'importe pour et quels moulages	Blancs jaunâtres, s'étirant peu ou pas en fils. Les paillettes de graphite sont assez abondantes sur les laitiers.	38,7	14,3	47,0	100
680	600	400	460	1,460	Grise n° 1 à gros grains noirs. Les paillettes de graphite sont assez abondantes sur la fonte.	Trop graphiteuse pour être employée seule en 2e fusion. Il faudrait la mélanger à des qualités inférieures. Limite supérieure de la charge pour fonte n° 1 de 2e fusion.	Blancs jaunâtres, la plus grande partie tombe en poussière de suite sans être humectée; légèrement mouillé le laitier foisonne instantanément. Les paillettes de graphite sont très-abondantes.	36,8	13,6	49,6	100

Toutes les charges du tableau précédent ont été soufflées à une pression de 75 millimètres et avec deux busillons de 65 millimètres de diamètre.

Température du vent. . . . . 300 degrés.

Quinze à seize charges par vingt-quatre heures (maximum de charges pour fonte de moulage, vu la petite capacité de ce fourneau), sa hauteur étant de 12 mètres seulement, et le diamètre du ventre de $2^m,50$.

Production mensuelle. . . . . . 180.000 kilog.

Le coke employé a toujours été de la même provenance, fait avec de la houille non lavée.

NOTICE

SUR LE CALCUL DES POUTRES DROITES EN ZIGZAG ET EN TREILLIS.

Par M. A. ACHARD, ancien élève externe de l'École des mines,
Ingénieur civil à Genève.

1. Les *Annales des ponts et chaussées*, pour 1864, contiennent au sujet du calcul des poutres droites en treillis, un mémoire de M. Collignon, ingénieur des ponts et chaussées, dans lequel la charge permanente et la charge mobile que la poutre doit supporter sont considérées comme uniformément réparties. L'objet du présent article est d'indiquer ou plutôt de rappeler une méthode basée sur un autre mode de raisonnement, et dans laquelle les charges sont censées discontinues comme elles le sont dans la réalité, puis de montrer que les résultats obtenus sont conformes à ceux auxquels M. Collignon est parvenu.

2. La méthode que nous développerons ici est exposée en traits généraux dans l'excellent cours de construction que M. Couche professe à l'École des mines. Nous en donnerons les résultats, sous la forme très-commode dans laquelle ils sont consignés dans un ouvrage didactique assez réputé en Angleterre (*). Elle consiste à envisager d'abord une poutre en zigzag simple (*warren girder*) dans laquelle les sommets des angles du zigzag coïncident avec les points d'application des charges. Au point de vue du calcul de la poutre en zigzag, il y aurait deux cas à considérer : celui où tous les sommets sont chargés et celui où ils ne le sont que de deux en deux. Ici nous ne nous occuperons que du

(*) *A Manual of civil Engineering*, by W. J. M. Rankine, 3e édition, p. 549-559. Cet ouvrage contient les résultats, mais non les raisonnements qui y conduisent.

premier cas (*), le seul qui intéresse la poutre en treillis. Une fois les résultats obtenus pour la poutre en zigzag, on les transforme sans peine en vue de la poutre en treillis (*lattice girder*).

3. La première chose à faire est de compter tous les sommets comme dans la *fig.* 7, Pl. X, en désignant le premier point d'appui par o, le second par N, N étant le nombre (toujours pair) de divisions horizontales dans lesquelles les sommets partagent la portée. Nous désignerons par n le numéro d'ordre d'un sommet quelconque, par A_n l'effort tranchant dans une section verticale comprise entre les sommets n et $n+1$, par F_n la tension ou la compression de la double division d'une plate-bande, opposée au sommet n, c'est-à-dire comprise entre les sommets $n-1$ et $n+1$.

Le maximum des efforts dans les plates-bandes ou tables, et le maximum des efforts dans les pièces du zigzag correspondent à des circonstances différentes et doivent être recherchés séparément.

4. *Calcul des efforts dans les tables.* — Cet effort atteint, en chaque section, son maximum, lorsque tous les sommets sont chargés simultanément de la charge permanente w et de la charge mobile w'. Le nombre des sommets chargés étant alors $N-1$, la charge complète pour toute la poutre est

$$(1) \qquad P = (w + w)'(N - 1).$$

Les réactions des appuis sont égales, savoir pour chacun :

$$(2) \qquad \frac{P}{2} = \frac{1}{2}(w + w')(N - 1).$$

(*) De deux sommets consécutifs, l'un est chargé directement, l'autre par l'intermédiaire d'un montant vertical qui est tiré lorsque la poutre est chargée par le bas, et comprimé lorsqu'elle est chargée par le haut. Dans le cas dont nous ne nous occupons pas ici, les sommets chargés le sont directement et les montants verticaux n'existent pas.

Les efforts tranchants sont aux diverses sections verticales :

$$(3)\begin{cases} A_0 = \frac{1}{2}(w+w')(N-1) \\ A_1 = \frac{1}{2}(w+w')(N-1) - (w+w') = \frac{1}{2}(w+w')(N-3) \\ A_2 = \frac{1}{2}(w+w')(N-1) - 2(w+w') = \frac{1}{2}(w+w')(N-5) \\ A_3 = \frac{1}{2}(w+w')(N-1) - 3(w+w') = \frac{1}{2}(w+w')(N-7) \\ \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots \\ A_n = \frac{1}{2}(w+w')(N-1) - n(w+w') = \frac{1}{2}(w+w')(N-2n-1). \end{cases}$$

Dans la pratique, toutes les pièces du zigzag forment avec la verticale un même angle α. Mais provisoirement nous réserverons la lettre α pour les angles relatifs aux pièces dont l'inclinaison du côté du milieu de la portée est dirigée vers le haut, et nous appellerons β l'angle relatif aux pièces pour lesquelles cette inclinaison est dirigée vers le bas (*fig.* 8). Enfin nous désignerons généralement par Z_n l'effort de la pièce comprise entre les sommets n et $n+1$.

La poutre étant en équilibre sous l'action des poids $w+w'$ appliqués à tous les sommets et des réactions des appuis, la réaction de l'appui de gauche, savoir $\frac{P}{2} = A_0$, se décompose en deux forces, l'une comprimant la pièce $0-1$, c'est

$$Z_0 = \frac{A_0}{\cos\alpha},$$

l'autre suivant $0-2$ étirant la plate-bande inférieure, savoir :

$$F_1 = A_0 \tang\alpha.$$

La compression Z_0 se décompose, au point 1, en une force qui tire la pièce oblique 1 — 2, savoir :

$$z_1 = Z_0 \frac{\cos\alpha}{\cos\beta} = \frac{A_0}{\cos\beta},$$

et en une force qui comprime la table supérieure, savoir :

$$f_2 = Z_0 \frac{\sin(\alpha+\beta)}{\cos\beta} = A_0 \frac{\sin(\alpha+\beta)}{\cos\alpha . \cos\beta} = A_0(\operatorname{tang}\alpha + \operatorname{tang}\beta).$$

D'autre part le poids $w + w'$, appliqué en 1, se décompose en une force qui comprime la pièce 1 — 2, savoir :

$$\zeta_1 = \frac{w + w'}{\cos\beta},$$

et en une force qui étire la table supérieure, savoir :

$$\varphi_2 = (w + w')\operatorname{tang}\beta.$$

En définitive la pièce 1 — 2 subira la tension

$$Z_1 = z_1 - \zeta_1 = \frac{A_0 - (w + w')}{\cos\beta} = \frac{A_1}{\cos\beta},$$

et la portion 1 — 3 de la plate-bande supérieure subira la compression

$$\begin{aligned} F_2 = f_2 - \varphi_2 &= A_0 (\operatorname{tang}\alpha + \operatorname{tang}\beta) - (w + w')\operatorname{tang}\beta \\ &= A_0 \operatorname{tang}\alpha + [A_0 - (w + w')]\operatorname{tang}\beta \\ &= A_0 \operatorname{tang}\alpha + A_1 \operatorname{tang}\beta. \end{aligned}$$

La tension Z_1 se décompose, au point 2, en une force qui comprime la pièce oblique 2 — 3, savoir :

$$z_2 = Z_1 \frac{\cos\beta}{\cos\alpha} = \frac{A_1}{\cos\alpha},$$

et en une force qui étire la plate-ban e inférieure, savoir :

$$f_2 = Z_1 \frac{\sin(\alpha+\beta)}{\cos\alpha} = A_1 \frac{\sin(\alpha+\beta)}{\cos\alpha . \cos\beta} = A_1(\operatorname{tang}\alpha + \operatorname{tang}\beta).$$

D'un autre côté le poids $w + w'$ appliqué en 2 se décompose en une force qui étire la pièce oblique 2 — 3

$$\zeta_2 = \frac{w + w'}{\cos\alpha},$$

et en une force qui comprime la plate-bande inférieure

$$\varphi_2 = (w + w')\operatorname{tang}\alpha.$$

En sorte que, en définitive, la pièce oblique 2 — 3 subira la compression

$$Z_2 = z_2 - \zeta_2 = \frac{A_1 - (w - w')}{\cos\alpha} = \frac{A_2}{\cos\alpha} \cdots\cdots$$

tandis que pour la division 2 — 4 de la table inférieure, la tension $f_2 - \varphi_2$ vient s'ajouter à la tension F_1 de la division précédente 0 — 2, en sorte que la tension est

$$F_2 = F_1 + f_2 - \varphi_2 = A_0 \operatorname{tang}\alpha + A_1(\operatorname{tang}\alpha + \operatorname{tang}\beta) - $$
$$- (w + w')\operatorname{tang}\alpha.$$
$$= A_0 \operatorname{tang}\alpha + A_1 \operatorname{tang}\beta + [A_1 - (w + w')]\operatorname{tang}\alpha$$
$$= (A_0 + A_2)\operatorname{tang}\alpha + A_1 \operatorname{tang}\beta.$$

La compression Z_2 se décompose, au sommet 3, en une force qui étire la pièce oblique 3 — 4, et qui a pour valeur

$$z_3 = Z_2 \frac{\cos\alpha}{\cos\beta} = \frac{A_2}{\cos\beta},$$

et en une force qui comprime la table supérieure :

$$f_4 = Z_2 \frac{\sin(\alpha+\beta)}{\cos\beta} = A_2 \frac{\sin(\alpha+\beta)}{\cos\alpha \cdot \cos\beta} = A_2(\text{tang}\,\alpha + \text{tang}\,\beta).$$

Mais en même temps, le poids $w + w'$ appliqué au même sommet 3 se décompose en une force qui comprime la pièce 3 — 4, savoir :

$$\zeta_3 = \frac{w + w'}{\cos\beta},$$

et en une force qui étire la table supérieure, savoir :

$$\varphi_4 = (w + w')\,\text{tang}\,\beta.$$

De sorte que la pièce oblique 3 — 4 se trouve tirée par

$$Z_3 = z_3 - \zeta_3 = \frac{A_2 - (w + w')}{\cos\beta} = \frac{A_3}{\cos\beta}$$

et que la division 3 — 5 de la plate-bande subit la compression $f_4 - \varphi_4$ qui, s'ajoutant à la compression F_2 de la division 1 — 3, donne en tout :

$$\begin{aligned} F_4 = F_2 + f_4 - \varphi_4 &= A_0\,\text{tang}\,\alpha + A_1\,\text{tang}\,\beta + A_2(\text{tang}\,\alpha + \\ &\quad + \text{tang}\,\beta) - (w + w')\,\text{tang}\,\beta \\ &= A_0\,\text{tang}\,\alpha + A_1\,\text{tang}\,\beta + A_2\,\text{tang}\,\alpha + [A_2 - (w + w')]\,\text{tang}\,\beta \\ &= (A_0 + A_2)\,\text{tang}\,\alpha + (A_1 + A_3)\,\text{tang}\,\beta. \end{aligned}$$

En continuant à raisonner de la même manière on voit que l'on a généralement pour un sommet n situé avant le milieu de la poutre :

Si ce sommet est situé sur la table inférieure, c'est-à-dire si n est pair :

(4) compression $Z_n = \dfrac{A_n}{\cos\alpha}$

de la diagonale n —— $n + 1$.

(5) compression $F_n = (A_0 + A_2 + \ldots\ldots + A_{n-2}) \operatorname{tang} \alpha + $
$+ (A_1 + A_3 + \ldots\ldots + A_{n-1}) \operatorname{tang} \beta)$

de la division $n - 1$ ——— $n + 1$ de la table supérieure. Et si ce sommet appartient à la table supérieure, c'est-à-dire si n est impair :

(6) tension $Z_n = \dfrac{A_n}{\cos \beta}$

de la diagonale n ——— $n + 1$.

(7) tension $F_n = (A_0 + A_2 + \ldots + A_{n-1} \operatorname{tang} \alpha + (A_1 +$
$+ A_3 + \ldots A_{n-2}) \operatorname{tang} \beta.$

de la division $n - 1$ ——— $n + 1$ de la table inférieure.

5. Quand on sera parvenu au sommet $\frac{N}{2}$ formant le milieu de la poutre, deux cas pourront se présenter :

a) $\frac{N}{2}$ impair. Alors le sommet milieu se trouve sur la table supérieure et est formé par la réunion de deux diagonales symétriques par rapport à la verticale avec laquelle elles forment un angle α (*fig.* 11). On a dans ce cas :

compression: $$F'_{\frac{N}{2}-1} = (A_0 + A_2 + \ldots + A_{\frac{N}{2}-3} \operatorname{tang} \alpha +$$
$$+ \left(A_1 + A_3 + \ldots + A_{\frac{N}{2}-2}\right) \operatorname{tang} \beta.$$

tension: $$F_{\frac{N}{2}} = \left(A_0 + A_2 + \ldots + A_{\frac{N}{2}-1}\right) \operatorname{tang} \alpha +$$
$$+ \left(A_1 + A_3 + \ldots + A_{\frac{N}{2}-2}\right) \operatorname{tang} \beta$$

compression $$Z_{\frac{N}{2}-1} = \frac{A_{\frac{N}{2}-1}}{\cos \alpha} = \frac{\frac{1}{2}(w+w')(N-1) - (w+w')\left(\frac{N}{2} - 1\right)}{\cos \alpha}$$
$$= \frac{1}{2} \cdot \frac{w + w'}{\cos \alpha}.$$

La compression $Z_{\frac{N}{2}-1}$ se décompose, au sommet $\frac{N}{2}$, en

$$z_{\frac{N}{2}} = \frac{A_{\frac{N}{2}-1}}{\cos\alpha} = \frac{1}{2}\frac{w+w'}{\cos\alpha},$$

qui étire la diagonale $\frac{N}{2}$ —— $\frac{N}{2}+1$, en

$$f_{\frac{N}{2}+1} = Z_{\frac{N}{2}-1}\frac{\sin 2\alpha}{\cos\alpha} = A_{\frac{N}{2}-1}\frac{\sin 2\alpha}{\cos^2\alpha} = 2 . A_{\frac{N}{2}-1}\tang\alpha$$

qui comprime la plate-bande supérieure. D'autre part, le poids $w + w'$ appliqué au même sommet, a pour composantes :

$$\zeta_{\frac{N}{2}} = \frac{w+w'}{\cos\alpha},$$

qui comprime la diagonale, et

$$\varphi_{\frac{N}{2}+1} = (w+w')\tang\alpha,$$

qui étire la plate-bande. Ainsi la diagonale $\frac{N}{2}$ —— $\frac{N}{2}+1$ sera soumise à la compression :

$$Z_{\frac{N}{2}} = \zeta_{\frac{N}{2}} - z_{\frac{N}{2}} = \frac{w+w'-A_{\frac{N}{2}-1}}{\cos\alpha} = \frac{1}{2}\frac{w+w'}{\cos\alpha} = \frac{A_{\frac{N}{2}}}{\cos\alpha},$$

l'effort tranchant, qui est négatif depuis le milieu de la portée jusqu'au second point d'appui, n'étant pris ici qu'en valeur absolue. Quant à la compression $f_{\frac{N}{2}+1} - \varphi_{\frac{N}{2}+1}$ qui, pour la division $\frac{N}{2}$ —— $\frac{N}{2}+1$ de la table supérieure, s'ajoute à la

compression $F_{\frac{N}{2}-1}$ de la division adjacente $\frac{N}{2}-2$ —— $\frac{N}{2}$, elle a pour valeur :

$$f_{\frac{N}{2}+1} - \varphi_{\frac{N}{2}+1} = \left[2A_{\frac{N}{2}-1} - (w+w')\right]\operatorname{tang}\alpha = A_{\frac{N}{2}-1}\operatorname{tang}\alpha + A_{\frac{N}{2}}\operatorname{tang}\alpha.$$

Donc

$$_{\frac{N}{2}+1} = F_{\frac{N}{2}-1} + A_{\frac{N}{2}-1}\operatorname{tang}\alpha + A_{\frac{N}{2}}\operatorname{tang}\alpha = F_{\frac{N}{2}} + A_{\frac{N}{2}}\operatorname{tang}\alpha.$$

Mais il faut faire observer que $A_{\frac{N}{2}-1}$ et $A_{\frac{N}{2}}$ sont égaux et de signes contraires. Par conséquent

$$F_{\frac{N}{2}+1} = F_{\frac{N}{2}-1}$$

La compression $Z_{\frac{N}{2}}$ a pour composantes, au sommet $\frac{N}{2}+1$:

$$z_{\frac{N}{2}+1} = Z_{\frac{N}{2}}\frac{\cos\alpha}{\cos\beta} = \frac{A_{\frac{N}{2}}}{\cos\beta} = \frac{1}{2}\,\frac{w+w'}{\cos\beta},$$

tension de la pièce oblique, et

$$f_{\frac{N}{2}+2} = Z_{\frac{N}{2}}\frac{\sin(\alpha+\beta)}{\cos\beta} = A_{\frac{N}{2}}\frac{\sin(\alpha+\beta)}{\cos\alpha\cdot\cos\beta} = A_{\frac{N}{2}}(\operatorname{tang}\alpha + \operatorname{tang}\beta)$$

qui comprime la plate-bande inférieure. D'autre part le poids $w+w'$, appliqué au même sommet, se décompose en

$$\zeta_{\frac{N}{2}+1} = \frac{w+w'}{\cos\beta},$$

tension de la pièce oblique et

$$\varphi_{\frac{N}{2}+2} = (w + w')\,\mathrm{tang}\,\beta,$$

compression de la plate-bande. Ainsi la pièce oblique $\frac{N}{2} + 1 - \frac{N}{2} + 2$ sera soumise à la tension

$$Z_{\frac{N}{2}+1} = z_{\frac{N}{2}+1} + \zeta_{\frac{N}{2}+1} = \frac{3}{2}\,\frac{w + w'}{\cos\beta} = \frac{A_{\frac{N}{2}+1}}{\cos\beta}.$$

Pour la division $\frac{N}{2} + 1$ —— $\frac{N}{2} + 3$ de la plate-bande inférieure, comme la compression $f_{\frac{N}{2}+2} + \varphi_{\frac{N}{2}+2}$ vient en déduction de la tension $F_{\frac{N}{2}}$ de la division précédente, elle sera soumise à la tension

$$F_{\frac{N}{2}+2} = F_{\frac{N}{2}} - f_{\frac{N}{2}+2} - \varphi_{\frac{N}{2}+2} = F_{\frac{N}{2}} - A_{\frac{N}{2}}\,(\mathrm{tang}\,\alpha + \mathrm{tang}\,\beta)$$
$$-(w + w')\,\mathrm{tang}\,\beta = F_{\frac{N}{2}} - A_{\frac{N}{2}}\,\mathrm{tang}\,\alpha - A_{\frac{N}{2}+1}\,\mathrm{tang}\,\beta,$$

en prenant les efforts tranchants $A_{\frac{N}{2}}$ et $A_{\frac{N}{2}+1}$ en valeur absolue; ou bien en les prenant avec leurs signes,

$$F_{\frac{N}{2}+2} = F_{\frac{N}{2}} + A_{\frac{N}{2}}\,\mathrm{tang}\,\alpha + A_{\frac{N}{2}+1}\,\mathrm{tang}\,\beta.$$

Or comme $A_{\frac{N}{2}}$ et $A_{\frac{N}{2}+1}$ sont réciproquement égaux à $A_{\frac{N}{2}-1}$ et $A_{\frac{N}{2}-2}$, mais de signe contraire, on voit que

$$F_{\frac{N}{2}+2} = F_{\frac{N}{2}-2}.$$

En continuant ce raisonnement, on voit que pour $n > \frac{N}{2}$, aussi bien que pour $n < \frac{N}{2}$, la diagonale n —— $n + 1$ est soumise à la compression $Z_n = \frac{A_n}{\cos\alpha}$, ou à la tension $Z_n = \frac{A_n}{\cos\beta}$, suivant que l'inclinaison de cette diagonale, du côté du milieu, est dirigée vers le haut ou vers le bas. A_n doit être pris en valeur absolue, et comme celle-ci demeure la même lorsqu'on change n en $N - n$ —— 1, toute diagonale est soumise à un effort de même grandeur et de même espèce que sa symétrique. On voit en outre que, pour $n > \frac{N}{2}$, la table supérieure subit la compression

$$(8) \quad (n \text{ pair}) \quad F_n = F_{\frac{N}{2}} + \left(A_{\frac{N}{2}} + A_{\frac{N}{2}+2} + \dots + A_{n-2}\right) \operatorname{tang}\alpha + \left(A_{\frac{N}{2}+1} + A_{\frac{N}{2}+3} + \dots + A_{n-1}\right) \operatorname{tang}\beta$$

ou la table inférieure la tension

$$(8a) \quad (n \text{ impair}) \quad F_n = F_{\frac{N}{2}} + \left(A_{\frac{N}{2}} + A_{\frac{N}{2}+2} + \dots + A_{n-2}\right) \operatorname{tang}\alpha + \left(A_{\frac{N}{2}+1} + A_{\frac{N}{2}+2} + \dots + A_{n-1}\right) \operatorname{tang}\beta,$$

les efforts tranchants, qui sont négatifs, étant pris ici avec leur signe ; et que en général :

$$F_n = F_{N-n}.$$

b) $\frac{N}{2}$ pair. Dans ce cas le sommet milieu se trouve sur la table inférieure. Les deux diagonales symétriques, par la rencontre desquelles il est formé, font chacune avec la verticale l'angle β (*fig.* 12). Par un raisonnement semblable au

précédent et qu'il est superflu de recommencer, on arriverait aux mêmes résultats que ci-dessus, sauf que les efforts des plates-bandes s'expriment par les formules :

Compression de la plate-bande supérieure :

$$(9)\quad (n \text{ pair})\quad F_n = F_{\frac{N}{2}} + \left(A_{\frac{N}{2}} + A_{\frac{N}{2}+2} + \ldots + A_{n-2}\right) \operatorname{tang} \beta$$
$$+ \left(A_{\frac{N}{2}+1} + A_{\frac{N}{2}+2} + \ldots + A_{n-1}\right) \operatorname{tang} \alpha,$$

tension de la plate-bande inférieure :

$$(9a)\quad (n \text{ impair})\quad F_n = F_{\frac{N}{2}} + \left(A_{\frac{N}{2}} + A_{\frac{N}{2}+2} + \ldots + A_{n-1}\right) \operatorname{tang} \beta$$
$$+ \left(A_{\frac{N}{2}+1} + A_{\frac{N}{2}+3} + \ldots + A_{n-2}\right) \operatorname{tang} \alpha,$$

mais on a toujours $F_n = F_{N-n}$.

Ainsi se trouve dans les deux cas vérifiée la symétrie des efforts qui pouvait être prévue *à priori*, dans l'hypothèse de l'égale répartition des charges. Les efforts des diagonales vont en croissant du milieu de la portée aux extrémités, tandis que ceux des tables croissent des extrémités au milieu. Leur maximum est $F_{\frac{N}{2}-1} = F_{\frac{N}{2}+1}$ pour une des tables, et $F_{\frac{N}{2}}$ pour l'autre.

6. Nous ne nous occuperons pas du parti qu'on peut tirer des équations (5), (7), (8 et 8*a*), (9 et 9*a*), moyennant calcul préalable des efforts tranchants, pour la détermination des tensions et compressions auxquelles les plates-bandes doivent résister; nous n'envisagerons que le cas pratique, celui où l'inclinaison de toutes les diagonales est la même. Il faut donc supprimer la distinction entre les angles α et β qui n'a été utile que pour mieux faire apercevoir la manière dont les divers efforts naissent les uns des autres.

Si nous faisons $\beta = \alpha$, les équations (5) et (7) se réduisent à celle-ci :

$$(10) \qquad F_n = (A_0 + A_1 + A_2 + \ldots + A_{n-1}) \operatorname{tang} \alpha ;$$

par suite

$$(11) \qquad F_{\frac{N}{2}} = \left(A_0 + A_1 + A_2 + \ldots + A_{\frac{N}{2}-1}\right) \operatorname{tang} \alpha ,$$

et les équations (8), (8*a*), (9) et (9*a*) se ramènent toutes à

$$(12) \qquad F_n = F_{\frac{N}{2}} + \left(A_{\frac{N}{2}} + A_{\frac{N}{2}+1} + \ldots + A_{n-1}\right) \operatorname{tang} \alpha .$$

Si nous remplaçons dans (10), A_0, A_1, etc., par leurs valeurs tirées de (3), nous trouvons :

$$(13) \qquad F_n = \frac{1}{2} (w + w') n (N - n) \operatorname{tang} \alpha ,$$

quantité dont le maximum est

$$(14) \qquad F_{\frac{N}{2}} = \frac{1}{8} (w + w') N^2 \operatorname{tang} \alpha ,$$

ce qu'on pourrait obtenir directement par substitution dans (11). Comme F_n ne change pas quand on remplace n par $N - n$, on en conclut que l'équation (13) s'applique indifféremment aux deux moitiés de la portée. On peut d'ailleurs vérifier qu'elle se retrouve en faisant les substitutions dans (12). C'est donc l'équation (13) qui servira au calcul. On ne se servira que de (14) lorsqu'on aura des raisons pour ne pas chercher à économiser la matière.

7. *Calcul des efforts dans les pièces du zigzag.* — Toutes les fois qu'il n'y aura pas lieu d'économiser la matière, on

ne s'occupera que de l'effort aux aplombs des appuis, savoir :

$$Z_0 = \frac{A_0}{\cos \alpha} = \frac{1}{2}(w + w')\frac{N - 1}{\cos \alpha}; \quad (15)$$

et on considérera cet effort comme subi par toutes les pièces du zigzag.

Mais quand il y aura à se préoccuper de cette économie, il faudra distinguer les efforts dus à la charge permanente et les efforts dus à la charge mobile.

Calcul des efforts provenant de la charge permanente. — Les charges permanentes s'étendant sur toute la portée, les efforts qui en proviennent suivent la même loi que les efforts Z qui ont servi à déterminer les tensions et compressions des tables. Nous aurons donc en appelant T_n celui qui s'exerce sur la pièce comprise entre les sommets n et $n + 1$:

$$T_n = \frac{1}{2} w \frac{N - 2n - 1}{\cos \alpha}, \quad (16)$$

quantité qui ne diffère de Z_n que parce qu'on a supposé $w' = 0$, et qui représente une compression ou une tension selon que l'inclinaison de la diagonale n —— $n + 1$, du côté du milieu de la portée, est dirigée vers le haut et vers le bas.

8. *Calcul des efforts provenant de la charge mobile.* — L'effort qu'une diagonale a à supporter, du fait de cette charge, est le plus intense, lorsqu'elle occupe en entier l'un des deux segments dans lesquels cette diagonale divise la portée. Il faudra distinguer le cas où elle occupe le plus grand, et celui où elle occupe le plus petit.

Nous supposons la diagonale n —— $n + 1$ appartenant à la première moitié de la portée.

a) Le premier cas est celui où les sommets 1, 2, 3..... n sont libres, c'est-à-dire ne portent que la charge permanente w, tandis que les autres sommets $n + 1$, $n + 2$... $N - 1$

portent en outre la charge mobile w'. Les sommets libres sont donc au nombre de n, et les sommets surchargés au nombre de $N - 1 - n$, ce qui fait une surcharge totale $=$ $(N - 1 - n)\, w'$. Comme il y a n divisions à gauche du dernier joint libre et $N - n$ à droite, le point d'application de la surcharge totale est distant de l'appui de gauche de $n + \frac{N - n}{2}$ et de l'appui de droite de $\frac{N - n}{2}$ divisions. Conséquemment les réactions auxquelles elle donne lieu, sont :

Sur l'appui de gauche $B = (N - 1 - n)\, w' \dfrac{N - n}{2N}$,

Sur l'appui de droite $C = (N - 1 - n)\, w' \dfrac{N + n}{2N}$.

La réaction de gauche donne lieu suivant la première diagonale à un effort $\frac{B}{\cos \alpha}$ et si l'on répète le raisonnement du § 4 en observant l'absence des poids w' entre la première diagonale et celle considérée, on verra que l'effort $\frac{B}{\cos \alpha}$ se transmet intégralement à celle-ci. Elle sera donc soumise à l'effort :

$$(17) \qquad S = \frac{1}{2} \frac{w'}{\cos \alpha} \frac{(N - 1 - n)(N - n)}{N},$$

et il est aisé de voir, par la marche même du raisonnement, que cet effort est *de même espèce (compression ou tension) que l'effort* T_n *dû à la charge permanente.*

b) Dans le second cas, ce sont les sommets 1, 2, 3... n qui sont chargés et les sommets $n + 1$, $n + 2$..... $N - 1$ qui sont libres. Ceux-ci sont au nombre de $N - 1 - n$, ceux-là au nombre de n, d'où une surcharge totale $= nw'$. Comme il y a $n + 1$ divisions, à gauche du premier joint libre, et $N - n - 1$ à droite, le point d'application de cette surcharge est séparé de l'appui de gauche par $\frac{n + 1}{2}$ divi-

sions, et de celui de droite par $N - \frac{n+1}{2}$ divisions. Par conséquent les réactions auxquelles elle donne lieu sont :

Sur l'appui de gauche $$B' = nw' \frac{N - \frac{n+1}{2}}{N}.$$

Sur l'appui de droite $$C' = nw' \frac{n+1}{2N}.$$

La réaction de gauche donne lieu, suivant la diagonale $0 - 1$, à un effort $\frac{B'}{\cos\alpha}$; mais celui-ci ne se transmet pas intégralement, comme dans le premier cas, à la diagonale $n \text{———} n+1$, et cela à cause des poids w' appliqués à tous les sommets intermédiaires. En suivant le raisonnement du § 4, on voit que l'effort qui sollicite cette diagonale s'exprime par

$$S' = \frac{B' - nw'}{\cos\alpha}$$

ou

$$(18) \qquad S' = -\frac{1}{2}\frac{w'}{\cos\alpha}\frac{n(n+1)}{N}.$$

Le raisonnement qui conduit à ce résultat fournit l'interprétation du signe affectant la valeur de S'. Il se passe ici, quelque part dans le segment surchargé, précisément ce qui se passe au milieu de la travée, ainsi qu'on l'a vu au § 5, dans le cas de la surcharge appliquée à tous les sommets (ou, ce qui revient au même, appliquée à aucun). La réaction de l'appui de gauche donne lieu suivant les diagonales $0 - 1$, $2 - 3$, $4 - 5$, etc., à des compressions, et suivant les diagonales $1 - 2$, $3 - 4$, $5 - 6$, etc., à des tensions; tandis que les poids w' donnent lieu, suivant $0 - 1$, $2 - 3$, $4 - 5$, etc., à des tensions, et suivant $1 - 2$, $3 - 4$, $5 - 6$, etc., à des compressions. L'effet de la réaction est

d'abord prépondérant; mais comme il reste constamment égal à $\frac{B'}{\cos\alpha}$, tandis que les effets des poids vont s'ajoutant les uns aux autres, les compressions et tensions diminuent graduellement jusqu'à ce que les effets des poids commencent à l'emporter. A partir de l'endroit où cela a lieu, l'ordre de succession des efforts alternatifs de compression et de tension est interverti, et l'intensité de ces efforts va en augmentant jusqu'à la diagonale n —— $n+1$ qui limite le segment surchargé. Par conséquent l'effort S' est *d'espèce contraire à l'effort* T_n *dû à la charge permanente.*

Observons ici que les efforts que la diagonale n —— $n+1$ aurait à supporter, si une portion seulement du grand segment portait les charges w', seraient tous, comme S, de même espèce que T_n et seraient tous moindres que S; tandis que les efforts qui la solliciteraient, si une portion seulement du petit segment était surchargée, seraient tous, comme S', d'espèce contraire à T_n et seraient également tous moindres que S'.

En raison de la symétrie il n'y a pas lieu de se préoccuper spécialement des diagonales appartenant à la seconde moitié de la poutre. D'ailleurs si on voulait faire le calcul pour celle qui est comprise entre les sommets $N-n-1$ et $N-n$, laquelle est symétrique de celle que nous avons envisagée, on trouverait que dans le premier cas, c'est-à-dire celui où les sommets 1, 2, 3... $N-n-1$ sont surchargés, l'effort a pour intensité S et est de même espèce que T_n, tandis que dans le second, celui où les sommets $N-n$, $N-n+1$... $N-1$ sont surchargés, l'effort a pour intensité S' et est d'espèce contraire à T_n.

9. Il faut remarquer que, m désignant un nombre entier quelconque, on a généralement :

$$1+2+3+\ldots+m=\frac{(m+1)}{2}.$$

Par conséquent les valeurs de S et de S′ peuvent s'écrire :

$$S = \frac{w'}{N\cos\alpha}(1+2+3+\ldots+N-n-1).$$

$$S' = \frac{w'}{N\cos\alpha}(1+2+3+\ldots n).$$

Désignant d'une manière générale par S_m la quantité $\frac{w'}{N\cos\alpha}(1+2+3+\ldots+m)$, formons la série des N quantités : S_0, S_1, $S_2 \ldots S_{N-1}$, puis divisons cette série en deux moitiés et rangeons les termes de la seconde en regard de ceux de la première, mais en ordre inverse, c'est-à-dire écrivons le tableau suivant :

$$(19)\quad \left\{\begin{array}{lcl} S_0 & \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots & S_{N-1} \\ S_1 & \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots & S_{N-2} \\ S_2 & \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots & S_{N-3} \\ \text{Etc.} & \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots & \text{Etc.} \\ S_{\frac{N}{2}-1} & \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots & S_{\frac{N}{2}} \end{array}\right.$$

Alors si nous nous référons à ce qui a été dit au paragraphe précédent, nous verrons que :

Étant donnée une diagonale n —— $n+1$ $\left(n<\frac{N}{2}\right)$, la quantité correspondante à ce nombre dans la première colonne ci-dessus (S_n) représente le plus grand effort dû à la charge mobile et d'espèce contraire à celui dû à la charge permanente; et la quantité qui est dans la même ligne dans la seconde colonne (S_{N-n-1}) représente le plus grand effort dû à la charge mobile et de même espèce que celui dû à la charge permanente.

10. *Calcul des efforts totaux des diagonales.* — Ce calcul revient à faire, pour chaque diagonale de la première moitié de la travée, la somme :

$$T_n + S_{N-n-1},$$

laquelle somme représentera une compression ou une tension suivant que la diagonale considérée a son inclinaison du côté du milieu de la poutre, dirigée vers le haut ou vers le bas (*).

Pour les pièces qui sont dans le second cas, il peut y avoir occasionnellement une précaution à prendre si on adopte pour la compression un effort limite R′ moindre que l'effort limite R relatif à la tension. Il résulte de ce qui a été dit plus haut que S_n est le plus grand effort auquel une de ces pièces est exposée du fait de la charge mobile, et que cet effort est une compression. D'autre part elle est soumise, du fait de la charge fixe, à la tension T_n. Si donc S_n est plus grand que T_n, la pièce en question pourra être définitivement soumise à la compression $S_n - T_n$. Par conséquent il faudra voir quel est le plus grand des deux quotients :

$$\frac{T_n + S_{N-1-n}}{R} \quad \text{et} \quad \frac{S_n - T_n}{R'}.$$

Le plus grand exprimera la section à adopter.

(*) Nous pouvons présentement vérifier *à posteriori* que le plus grand effort d'une diagonale ne correspond pas au cas où la surcharge ϖ' est appliquée à tous les sommets. En effet nous avons identiquement :

$$\frac{(N-n-1)(N-n)}{N} = N - 2n - 1 + \frac{n^2+n}{N}.$$

Par conséquent

$$T_n + S_{N-n-1} = Z_n + \frac{n^2+n}{N} \cdot \frac{\varpi'}{2\cos\alpha}.$$

Or $\frac{n^2+n}{N}$ est une quantité positive. Il est de plus à remarquer que cette quantité augmente avec n et atteint son maximum pour la plus grande valeur que n puisse recevoir ici, c'est-à-dire pour $n = \frac{N}{2}$. C'est donc au milieu de la portée que l'écart est le plus grand.

11. Après avoir déterminé les efforts qui sollicitent les diverses parties d'une poutre en zigzag ou à réseau triangulaire simple, il nous faut passer de ce cas à celui de la poutre à treillis.

Imaginons une poutre en zigzag pareille à celle de la *fig.* 7 et une autre pareille à celle de la *fig.* 9, (*) représentant la première retournée sens dessus dessous, et supposons que l'une et l'autre aient à supporter, en chacun de leurs sommets, la charge permanente $\frac{1}{2}w$ et éventuellement la charge mobile $\frac{1}{2}w'$. Il sera aisé de voir que :

a). Les tensions et compressions des diagonales de la première de ces poutres demi-chargées seront, toutes choses égales d'ailleurs, la moitié des tensions et compressions des diagonales correspondantes de la poutre primitive.

b). Les efforts des diagonales de la seconde de ces poutres sont égaux à ceux des diagonales correspondantes de la première, mais de sens contraire. Ainsi, tandis que 0 — 1 est comprimé, et 1 — 2 étiré, 0′ — 1′ est étiré et 1′ — 2′ comprimé et ainsi de suite :

c). Les efforts des tables de la première des poutres à demi-chargées sont moitié des efforts correspondants dans la poutre primitive.

d). Les tensions de la table inférieure de l'une des poutres demi-chargées sont respectivement égales aux compressions de la table supérieure de l'autre.

Nous aurons donc :

(*) Les traits ponctués verticaux qu'on remarque dans les triangles de deux en deux, représentent les montants verticaux dans le cas d'une poutre chargée par le bas. Si la poutre était chargée par le haut, c'est dans les autres triangles qu'ils se trouveraient.

Tension.	Compression.	Valeur absolue des efforts des tables.
o — 2	o′ — 2′	$\frac{1}{2} A_0 \text{ tang } \alpha$.
1′ — 3′	1 — 3	$\left(\frac{1}{2} A_0 + \frac{1}{2} A\right) \text{ tang } \alpha$.
2 — 4	2′ — 4′	$\left(\frac{1}{2} A_0 + \frac{1}{2} A_1 + \frac{1}{2} A_2\right) \text{ tang } \alpha$,
Etc.		Etc.

Cela étant, concevons que les deux poutres demi-chargées soient juxtaposées l'une à l'autre de manière à ce que les deux tables inférieures soient rendues solidaires entre elles, et les deux tables supérieures également. Nous aurons ainsi réalisé une poutre *à réseau triangulaire double* ou *à simple treillis* (*fig.* 10), laquelle, au droit des verticales 1 — 1′, 2 — 2′, etc., sera soumise aux charges permanentes w et éventuellement aux charges mobiles w'. Dans cette nouvelle poutre il n'y aura rien de changé aux efforts des pièces du réseau; mais les efforts dans les tables rendues solidaires s'ajoutent, et la tension de chaque division de l'une est égale à la compression de la division correspondante de l'autre. L'on aura ainsi :

Tension.	Compression.	Valeur absolue des efforts des tables.
o — 1′	o′ — 1	$\frac{1}{2} A_0 \text{ tang } \alpha$.
1′ — 2	1 — 2′	$\left(A_0 + \frac{1}{2} A_1\right) \text{ tang } \alpha$.
2 — 3	2′ — 3	$\left(A_0 + A_1 + \frac{1}{2} A_2\right) \text{ tang } \alpha$.
3 — 4′	3 — 4′	$\left(A_0 + A_1 + A_2 + \frac{1}{2} A_3\right) \text{ tang } \alpha$.

Et en général pour la division située à gauche du sommet n :

$$(20) \quad \left(A_0 + A_1 + \ldots\ldots + A_{n-2} + \frac{1}{2} A_{n-1}\right) \text{ tang } \alpha = \frac{1}{2} (w + w') \left[n(N-n) - \frac{N-2n+1}{2}\right] \text{ tang } \alpha,$$

et pour celle qui est à droite :

$$(21) \quad \left(A_0 + A_1 + \ldots\ldots + A_{n-1} + \frac{1}{2} A_n\right) \operatorname{tang}\alpha = \frac{1}{2}(w + w')\left[n(N-n) + \frac{N-2n-1}{2}\right]\operatorname{tang}\alpha.$$

On voit que ces deux quantités comprennent F_n donné par l'équation (13). Dans la pratique on adopte F_n pour la division à gauche et F_{n+1} pour celle à droite, en d'autres termes, on conserve l'équation (13), avec cette restriction que F_n au lieu de se rapporter, comme dans le réseau triangulaire simple, à la double division située vis-à-vis le sommet n, se rapporte aux deux divisions simples comprises entre les verticales $n-1$ et n.

12. Pour passer maintenant du treillis simple au treillis multiple, les points d'application des charges restant les mêmes que dans la *fig.* 10, il n'y a rien à changer aux résultats précédents en ce qui concerne les efforts dans les tables. Mais les efforts diagonaux se répartissent entre un plus grand nombre de pièces, et l'on admet, ce qui pour la pratique, est suffisamment près de la vérité, que l'effort auquel une diagonale aurait été soumise dans le treillis simple se répartit également entre toutes celles qui les remplacent dans le treillis multiple.

Ainsi, dans le treillis simple, deux barres se croisant à mi-hauteur de la poutre seraient soumises à des efforts de compression pour l'une, de tension pour l'autre égaux à :

$$\frac{T_n}{2} + \frac{S_{N-n-1}}{2}.$$

Mais si chacune de ces barres se trouve remplacée par m barres également distribuées de part et d'autre de la ligne n —— $n+1$, l'effort sera pour chacune :

$$\frac{T_n}{2m} + \frac{S_{N-n-1}}{2m}.$$

On trouve le nombre m en comptant le nombre de barres de même inclinaison que croise une verticale quelconque.

13. Enfin il nous reste à comparer les résultats obtenus avec ceux donnés par M. Collignon.

Nous désignerons par :

l la longueur de la portée entre les aplombs des appuis.

x la distance entre une section verticale et l'aplomb de l'appui de gauche.

h la hauteur de la poutre, de centre en centre des plates-bandes.

p la charge permanente } par mètre courant.
p' la charge mobile } par mètre courant.

Nous aurons :

$$\text{tang}\,\alpha = \frac{l}{Nh}.$$

Remarquons d'abord que l'équation (10) peut s'écrire :

$$F_n h = (A_0 + A_1 + A_2 + \dots + A_{n-1}) \frac{l}{N},$$

et que, si l'on suppose les points d'application des charges de plus en plus nombreux et plus rapprochés, on aura à la limite :

$$\frac{l}{N} = dx,$$

$$F_x h = \int_0^x A\,dx.$$

Et comme $F_x\,h$ est le moment de flexion M_x dans la section verticale d'abscisse x, nous retrouvons la relation fondamentale :

$$\frac{dM_x}{dx} = A.$$

Quant à l'équation (13) qui sert au calcul des efforts des tables et qui peut s'écrire :

$$F_n = \frac{1}{2}(w + w')n(N - n)\frac{l}{Nh},$$

Si nous observons que :

$$(w + w')n = (p + p')x,$$

et que :

$$\frac{x}{l} = \frac{n}{N};$$

d'où

$$\frac{l - x}{l} = \frac{N - n}{N} \quad \text{et} \quad l - x = l\frac{N - N}{N},$$

nous voyons qu'elle devient :

$$(23) \qquad F_n h = M_x = \frac{1}{2}(p + p')x(l - x).$$

14. Passons aux efforts des pièces du treillis. Dans le premier des deux cas examinés au § 8, celui où, des deux segments, le plus petit est libre et le plus grand chargé, si nous désignons par x la longueur du premier et par $l - n$ celle du second, nous aurons pour valeur de l'effort tranchant à la section limite des deux segments :

$$A = p\left(\frac{l}{2} - x\right) + \frac{p'}{2l}(l - x)^2;$$

et comme :

$$2m\varphi\cos\alpha = A,$$

φ étant l'effort d'une pièce du treillis, on a :

$$(24) \qquad \varphi = \frac{p\left(\frac{l}{2} - x\right)}{2m\cos\alpha} + \frac{\frac{p'}{2l}(l - n)^2}{2m\cos\alpha}.$$

Ainsi l'effort provenant de la charge permanente et celui provenant de la charge mobile s'ajoutent. De plus, si nous observons que :

$$pl = (N - 1)w, \qquad px = nw.$$

$$p'(l - x) = (N - n - 1)w', \qquad \frac{l - x}{l} = \frac{N - n}{N}.$$

Nous pouvons écrire :

$$\varphi = \frac{\frac{1}{2}(N - 2n - 1)w}{2m\cos\alpha} + \frac{\frac{1}{2N}(N - n - 1)(N - n)w'}{2m\cos\alpha},$$

c'est-à-dire en nous reportant au § 8 :

$$\varphi = \frac{T_n}{2m} + \frac{S_{N-n-1}}{2m}.$$

Dans le second cas, celui où le segment x est chargé et où le segment $l - x$ ne l'est pas, nous avons :

$$A_1 = p\left(\frac{l}{2} - x\right) - \frac{p'}{2l}x^2,$$

et par suite :

$$(25) \qquad \varphi_1 = \frac{p\left(\frac{l}{2} - x\right)}{2m\cos\alpha} - \frac{\frac{p'}{2l}x^2}{2m\cos\alpha}.$$

Ici l'on voit que l'effort provenant de la charge mobile est d'espèce contraire à celui provenant de la charge permanente. En tenant compte des relations :

$$p'x = (n + 1)w', \qquad \frac{x}{l} = \frac{n}{N}.$$

nous voyons que :

$$\varphi_1 = \frac{\frac{1}{2}(N - 2n - 1)w}{2m\cos\alpha} - \frac{\frac{1}{2N}n(n + 1)w'}{2m\cos\alpha}$$

ou

$$\varphi_1 = \frac{T_n}{2m} - \frac{S_n}{2m}.$$

Ainsi que l'a fait remarquer M. Collignon, φ est l'ordonnée d'une parabole dont le tracé permettra d'abréger les calculs. Il suffit de la construire pour la moitié de la portée, c'est-à-dire en faisant varier x de o à $\frac{l}{2}$; ses ordonnées représenteront la plus grande compression des contre-fiches et la plus grande tension des tirants. En vue de ces derniers il y aura en outre à construire la parabole représentant φ_1; cette parabole pourra avoir des ordonnées négatives, et celles-ci représenteront la plus grande compression à laquelle les tirants sont exposés.

En résumé, les deux méthodes conduisent aux mêmes résultats et les calculs ne présentent pas plus de difficulté avec l'une qu'avec l'autre. Au point de vue didactique, la méthode indiquée par M. Collignon a l'avantage de ne pas recourir à des décompositions de force qui présentent facilement à l'esprit quelque chose d'arbitraire; mais celle, bien antérieure (*) de M. Couche, a celui de mieux faire ressortir et de mieux expliquer la solidarité qui existe entre les efforts des tables et ceux des pièces du treillis.

(*) Voir : *Travaux d'art des chemins de fer d'Allemagne*, par M. Couche. —*Annales des mines* de 1854. (Tome V, p. 376 et suiv.)

NOTE

SUR L'ORIGINE DU SEL MARIN DANS LE SOL DE LA CAMARGUE

(DÉPARTEMENT DES BOUCHES-DU-RHÔNE)

ET SUR LES MOYENS DE COMBATTRE SES EFFETS NUISIBLES.

Par M. Scipion GRAS, ingénieur en chef des mines.

Parmi les causes qui diminuent la fertilité naturelle de la Camargue, on doit mettre en première ligne le sel marin qui s'y trouve souvent en excès. Toutes les terres en sont plus ou moins imprégnées. Il est quelquefois tellement abondant qu'il forme à la surface du sol des dépôts blanchâtres, sur des espaces considérables qui ont été remarqués depuis longtemps et auxquels on a donné le nom de *sansouires*. Ces espaces sont presque entièrement privés de végétation; c'est à peine si l'on y aperçoit quelques touffes minces de verdure, composées principalement de plantes qui croissent ordinairement sur les bords de la mer. En dehors des sansouires, beaucoup de terres, sans être frappées d'une stérilité absolue, ne donnent que de chétives récoltes à cause de leur grande teneur en sel. Pour trouver les meilleurs moyens de combattre l'influence funeste de cette substance, il est nécessaire de se rendre un compte exact des causes qui l'ont accumulée. Cette recherche intéresse à un haut degré l'agriculture du pays; elle est aussi un point important de sa géographie physique.

Hypothèses diverses pour expliquer la salure de la Camargue; elles sont inadmissibles. — La salure de la Camargue a été expliquée de diverses manières. En se fondant

sur ce que le terrain d'alluvion, dont elle est entièrement formée, s'est déposé dans le sein de la mer, on a pensé qu'il était resté imprégné du chlorure de sodium, que celle-ci tient en dissolution. Quelques savants ont cru plutôt qu'il fallait admettre l'existence de sources salées cachées à l'intérieur du sol. D'après une troisième opinion, qui est la plus généralement adoptée, la contrée aurait pour base une nappe d'eau salée, sans cesse alimentée par des filtrations de la mer. L'action de la capillarité ferait remonter l'eau de cette nappe jusqu'à la surface des terres, où, étant concentrée par l'évaporation, elle abandonnerait du sel. Aucune de ces explications ne paraît admissible, ainsi que l'on va en juger.

On peut objecter avec beaucoup de raison à la première hypothèse, d'après laquelle le sel serait contemporain de la formation du terrain, que dans ce cas il aurait disparu depuis longtemps, ou que, tout au moins, sa proportion serait devenue insensible. Il n'aurait pu résister aux actions chimiques qui tendent à le décomposer au sein des terres calcaires, ni surtout aux lavages répétés que les pluies abondantes opèrent depuis des siècles. Or, loin que sa proportion se soit affaiblie, elle paraît au contraire avoir augmenté, ainsi que l'indiquent quelques faits qui seront rapportés plus loin. On doit en conclure qu'il est sans cesse entretenu par une cause permanente.

L'existence de sources salées, qui, au reste, n'a été admise qu'avec beaucoup de doutes, nous paraît inconciliable avec l'observation. La salure de la Camargue ne se manifeste pas sur des points isolés ; elle est générale et l'on comprend difficilement que des sources, même nombreuses, pussent étendre leur influence sur toute la surface d'une contrée. Il ne serait pas moins inconcevable que l'existence d'aucune d'elles n'eût pu encore être constatée. D'un autre côté, on remarque que les terrains sableux sont ceux qui contiennent le moins de sel ; il est surtout abon-

dant dans les terres argileuses. Or s'il était amené par un liquide exerçant une pression de bas en haut, ce serait le contraire que l'on observerait. Les terres argileuses seraient un obstacle à son arrivée et les sables lui livreraient un passage facile.

Quant à la troisième opinion, qui admet l'existence d'une nappe d'eau salée souterraine remontant jusqu'à la surface par voie de capillarité, elle est un exemple remarquable de la facilité avec laquelle une explication scientifique peut s'accréditer malgré son peu de fondement, lorsqu'elle est spécieuse et qu'elle repose sur des théories physiques vraies en elles-mêmes, quoique non applicables à la question. Nous ferons d'abord remarquer que l'idée d'une nappe d'eau salée passant sous la Camargue est une pure hypothèse, qui ne pourrait avoir quelque vraisemblance que s'il existait au niveau de la mer ou à un niveau inférieur, une couche sableuse très-étendue, facilement perméable. Au contraire, les sondages n'ont fait découvrir jusqu'à présent à cette profondeur qu'une argile très-compacte, inaccessible aux filtrations. Il y a plus : des puits creusés dans l'intérieur de la plaine, à une grande distance du Rhône, ont rencontré de l'eau douce à un niveau inférieur à celui de la mer. Ce fait est inconciliable avec la présence d'une couche salée aquifère qui aurait dû être traversée par ces puits. La capillarité, à laquelle on fait jouer un si grand rôle, ne peut pas faire monter l'eau à une hauteur indéfinie. Des expériences que nous allons rapporter prouvent que son action sur les terres s'exerce entre des limites assez étroites. M. de Gasparin ayant rempli un tube avec de la terre desséchée, renfermant 12 p. 100 d'argile, a plongé l'une de ses extrémités dans de l'eau salée. Au bout de cinq jours, l'eau s'est élevée à la hauteur de $0^{m},40$, qu'elle n'a jamais dépassée. Dans une autre expérience, où la teneur de la terre en argile était de 30 p. 100, l'eau n'a atteint que $0^{m},39$, et son ascension a été beaucoup moins rapide que

dans le cas précédent (*). Or il y a des lieux très-salés dans la Camargue qui sont situés à plusieurs mètres au-dessus du niveau de la mer. La théorie de la capillarité ne saurait donc leur être applicable. On peut encore objecter qu'une coupe verticale faite dans le sol de la plaine ne présente pas en général une homogénéité complète. Des lits de sable y alternent avec des couches argileuses, en sorte que la continuité d'une texture favorable à l'ascension de l'eau se trouve souvent interrompue.

Si, comme le prouvent les observations précédentes, il n'est pas admissible que le sel dont est imprégnée la surface de la Camargue provienne des profondeurs du sous-sol, d'où il se serait élevé par l'effet de l'attraction capillaire, il serait cependant inexact de prétendre que cette force n'entre absolument pour rien dans le phénomène des sansouires; elle y contribue, mais seulement d'une manière secondaire. Si l'on prend une masse argilo-sableuse d'un certain volume, par exemple, de la grosseur du poing, et qu'après l'avoir pétrie en forme de boule, avec de l'eau contenant une forte proportion de sel marin, on la fasse sécher au soleil, on remarque qu'au bout de quelque temps sa surface se couvre d'une légère couche saline. Si l'on essuie ce sel avec soin et si l'on imbibe une seconde fois la boule terreuse en la mouillant avec de l'eau, même pure, la pellicule saline reparaît après une nouvelle exposition au soleil. Sa production est facile à comprendre. La dessiccation de la terre se fait à l'extérieur et l'humidité rayonne de l'intérieur par suite de l'action capillaire; il en résulte qu'une couche de sel doit se déposer à la surface à mesure que l'évaporation a lieu. Si la boule terreuse, lorsqu'elle est devenue complétement sèche, renferme encore du sel à son intérieur, et si on l'imbibe de nouveau avec de l'eau, même pure, on

---

(*) *Note sur les terrains du Delta du Rhône*, comptes rendus des séances de l'Académie des sciences, t. XXXII, p. 696.

comprend également que le sel doit reparaître à la surface par le fait de la capillarité. Les choses se passent ainsi quand le sol de la Camargue éprouve des alternatives d'humidité et de sécheresse, sauf que la masse terreuse étant ici infiniment plus considérable, il n'est pas nécessaire, pour que le phénomène se produise, que la proportion du sel soit aussi forte. Mais il reste à savoir pourquoi, depuis une époque immémoriale, toute la contrée est salée jusqu'à une certaine profondeur; ce n'est plus par la capillarité qu'il est possible de l'expliquer.

La salure de la Camargue n'est pas due à une cause extraordinaire. — Dans notre opinion, l'abondance du sel dans la Camargue n'est qu'un cas particulier extrême, à raison des circonstances spéciales où il se produit, d'un fait général, très-connu, dont la cause est trop claire pour avoir été un sujet de discussion. Ce fait est la diffusion du chlorure de sodium dans les terrains voisins de la mer.

Tout le monde a pu remarquer que si l'on se promène par un temps orageux le long d'un rivage, on se sent bientôt imprégné d'eau salée. Cette eau, en particules très-fines, est balayée à la surface de la mer écumeuse, exactement comme l'est sur terre la poussière qui s'élève en tourbillons au-dessus de nos grandes routes. Elle peut être transportée très-loin si les vents, qui en sont chargés, sont impétueux et ne rencontrent aucun obstacle. La conséquence nécessaire de ce fait est la présence du sel marin dans le sol, lorsque les lieux sont peu éloignés de la mer. Il y est en quantité ordinairement d'autant plus grande que la distance au rivage est moindre. Cependant, dans la plupart des cas, sa proportion reste assez petite; car si, d'un côté, les vents qui viennent du large l'accumulent sans cesse, de l'autre, les lavages opérés par les eaux pluviales tendent à le faire disparaître. La végétation des côtes, par suite de leur salure, diffère beaucoup de celle des autres localités. Elle est caractérisée par la présence d'un certain nombre

d'espèces spéciales, nommées plantes *maritimes*, qui appartiennent à des genres variés, parmi lesquels le *salsola*, le *salicornia* et le *statice* occupent le premier rang. Ces plantes sont remarquables par la grande quantité de soude que renferment leurs cendres. Plusieurs espèces, que l'on rencontre habituellement à l'intérieurdes terres, vivent aussi avec les précédentes sur les bords de la mer; mais on observe que, sous l'influence de l'humidité salée de l'atmosphère, nommée *air marin*, elles éprouvent, pour la plupart, des modifications dans leur port et la contexture de leurs organes. Elles deviennent naines et trapues; leur épiderme est distendu et leur parenchyme gonflé; leurs feuilles paraissent charnues comme celles des plantes grasses. Le botaniste a quelquefois de la peine à les reconnaître.

Au delà des terrains qui offrent la végétation exceptionnelle dont nous venons de parler, il y en a d'autres où l'air marin, sans déterminer dans les plantes des modifications notables, a cependant sur elles une influence sensible. Ainsi, en Normandie et en Bretagne, les pâturages, peu éloignés de la mer, produisent une herbe salée qui est très-recherchée des troupeaux et leur communique un goût exquis. Les moutons qui s'en nourrissent portent dans le commerce de la boucherie le nom de moutons de prés-salés. Sans aller chercher des exemples aussi loin, nous citerons la Crau qui touche à la Camargue. Ses pâturages sont également salés et, pour cette raison, jouissent d'une grande réputation. Le sel y est même assez abondant pour que la ration de cette substance, donnée ordinairement aux troupeaux, puisse être diminuée.

La zone des terrains qui, à raison de leur voisinage de la mer, participent à sa salure, a une largeur très-variable, suivant la configuration des lieux. Elle est très-étroite lorsque le rivage est dominé par des collines escarpées qui arrêtent les vents rasants chargés d'eau salée. Cette largeur augmente si la côte est peu accidentée. Elle atteint son

maximum au débouché des vallées spacieuses, ouvertes aux vents qui soufflent du large ; dans ce cas, les plantes maritimes peuvent remonter très-haut, le long des cours d'eau (*).

La Camargue étant baignée par la mer, doit recevoir du sel comme tous les lieux qui sont dans la même situation; mais ici le phénomène se produit avec une intensité bien plus grande qu'ailleurs, à cause des conditions particulières dans lesquelles cette plaine se trouve placée. Elle s'étend le long de la Méditerranée sur une longueur de 38 kilomètres; on n'y observe pas le moindre accident du sol; elle est très-basse, complétement dépourvue de bois, sans abris quelconques ; à l'intérieur, il y a de vastes nappes d'eau salée dont la surface est soulevée et violemment agitée dans les temps orageux. Il résulte de là que les vents, quand ils sont impétueux, y projettent une immense quantité de particules d'eau de mer. Cet arrosage salé embrasse toute la Camargue et s'étend même au delà, mais en décroissant successivement à partir du sud. Il y a un autre fait important à noter. Comme la surface du pays est presque horizontale et en général peu perméable, les eaux pluviales, quand elles tombent en abondance, ne trouvent à s'écouler ni à l'extérieur ni à l'intérieur du sol. Elles ne peuvent disparaître que par l'évaporation, et celle-ci, étant très-active, les enlève ordinairement en peu de temps. Par conséquent, le lavage par les eaux pluviales, qui est partout ailleurs sur les côtes très-efficace pour dessaler les terres, n'agit ici que très-imparfaitement. Ainsi, d'une part, la Camargue se trouve dans des conditions topogra-

(*) Dans la vallée du Rhône, on trouve des *Salsola* jusqu'au confluent de la Durance, près d'Avignon, à plus de 65 kilomètres de l'embouchure du fleuve. La vaste plaine de la Crau a une salure sensible dans toute son étendue.

phiques telles qu'elle reçoit plus de sel qu'il n'en arrive en général sur les terrains placés dans la même situation; d'autre part, les lavages, qui pourraient le faire disparaître, sont presque sans efficacité. Il n'est donc pas étonnant que la salure de cette contrée soit devenue excessive. C'est parce qu'elle est exceptionnelle qu'on s'est cru obligé d'avoir recours à des causes également extraordinaires pour l'expliquer; mais les observations précédentes prouvent que cela n'est nullement nécessaire.

Effets nuisibles du sel en excès; moyens de les combattre. — Ainsi que nous l'avons dit en commençant, le sel marin tue la végétation dès que sa proportion est un peu forte. Son action est surtout énergique quand il est sec et en contact immédiat avec les racines ou les feuilles d'une plante; probablement il agit alors comme caustique en désorganisant les tissus végétaux. L'observation en a été faite dès les temps les plus reculés. Autrefois, on semait du sel sur les terrains que l'on voulait vouer à la stérilité. D'après les expériences de M. de Gasparin sur les terres du delta du Rhône, il faut que ces terres, pour être cultivées en blé ou fournir de bons pâturages, ne renferment pas au delà de 0,02 de sel marin. Quand la dose de cette substance dépasse 0,02, le sol se dépouille de gazon et ne porte plus que des plantes maritimes. Enfin, ces plantes elles-mêmes cessent de végeter quand la salure atteint 0,05. Il est donc d'une grande importance pour les agriculteurs de la Ca-

(*) Julia Fontenelle a estimé de 0,04 à 0,06 le degré maximum de salure des terres propres à la culture aux environs de Narbonne. Un peu au-dessus de ce point, on ne peut y récolter que de la soude. Le sol est complétement stérile, si la dose surpasse 0,12 à 0,14. Voyez les *Annales de l'agriculture*, 1832, t. X, p. 48.

Il paraît résulter des expériences faites jusqu'à ce jour que la quantité maximum de sel que peut supporter une terre cultivée est variable suivant les lieux, et qu'elle est d'autant moindre que ceux-ci sont plus secs ou susceptibles de le devenir.

marque que le sel ne s'accumule pas en trop grande quantité dans leurs propriétés.

Pour s'en débarrasser, la théorie indique deux moyens principaux qui ont déjà été essayés et dont l'expérience a confirmé l'efficacité.

On peut d'abord, en abritant la surface des terres contre le vent et le soleil, s'opposer à une trop prompte évaporation des eaux pluviales. Celles-ci ont alors le temps de s'infiltrer peu à peu dans le sous-sol, dont l'imperméabilité n'est jamais absolue, et d'y entraîner une partie du sel. Quant à la portion qui n'est pas entraînée, étant maintenue constamment à l'état de dissolution, elle n'a pas sur les plantes une action aussi désastreuse que si elle se desséchait. Pour réaliser ce double avantage, les cultivateurs placent au-dessus des terres à blé, après les avoir ensemencés, une couche assez épaisse de roseaux non décomposés, en la recouvrant d'un peu de terre pour l'empêcher d'être emportée par le vent. Les plantes marécageuses, employées à cet usage, sont principalement le petit roseau (*arundo phragmites*) et le triangle (*cyperus longus*); on y joint des *typha*, des *sparganium*, etc. Cette couverture est suffisante pour que la terre reste humide et que les efflorescences y soient impossibles. Par ce moyen, on est parvenu à retirer d'assez bonnes récoltes de lieux qui, auparavant, étaient complétement stériles.

Un autre procédé plus direct et meilleur que le précédent, si l'on fait abstraction des dépenses, consiste à rendre le sol perméable par le drainage, par des labours profonds et répétés, ou en y mêlant du sable, de la paille et d'autres substances propres à le diviser. Il est évident que par là on favorise le lavage par les eaux pluviales qui est, ainsi que nous l'avons dit, un moyen excellent de dessaler les terres. M. de Gasparin l'a constaté d'une manière positive; il n'a trouvé que 0,001 de sel dans un champ travaillé pour la jachère, tandis que le sous-sol resté intact en contenait 0,01;

ainsi, par le seul fait du défoncement du sol, on avait fait disparaître les 9/10 de la salure (*). Lorsque la Camargue aura été pourvue d'un nombre suffisant de canaux, soit pour l'irrigation, soit pour l'évacuation des eaux superflues, on pourra la dessaler à peu près complétement par de fréquents arrosages. On exécutera en grand ce que fait en petit le chimiste qui, après avoir déposé une matière sur un filtre, parvient à la débarrasser des substances solubles dont elle est imprégnée en y versant beaucoup d'eau.

On pourrait aussi suppléer, jusqu'à un certain point, à l'irrigation, en faisant de petites levées en terre à la surface des champs, de manière à les diviser en compartiments où seraient retenues les eaux pluviales. Celles-ci, ne pouvant s'écouler à la surface du sol, pénétreraient peu à peu dans son intérieur, d'autant plus profondément, qu'il serait plus perméable et y entraîneraient le sel. Ce moyen est en usage dans le département du Nord, sur les bords de la mer.

Des plantations d'arbres seraient un obstacle à l'invasion du sel. — Ces deux procédés ne sont, à proprement parler, que des palliatifs applicables seulement à de petits espaces et fort coûteux, parce qu'ils exigent une main d'œuvre considérable. Il serait donc très-important d'arriver à diminuer d'une manière générale, en embrassant toute la Camargue, cette énorme quantité de sel qui tend à la frapper de stérilité. Les considérations que nous allons développer nous paraissent prouver que l'on y parviendrait par un boisement méthodique de la contrée.

L'efficacité de ce moyen est une conséquence de l'origine de la salure, telle que nous l'avons expliquée. Les particules d'eau que le vent enlève à la surface de la mer lorsqu'elle est agitée et couverte d'écume occupent naturellement les régions les plus basses de l'atmosphère, à cause de leur pesanteur. Par conséquent, une forêt

---

(*) Notice déjà citée, page 701.

d'arbres élevés, qui s'étendrait d'une extrémité de la plage à l'autre, serait propre à les intercepter, au moins en partie. Nous avons assimilé, sous le rapport du mode de transport, les particules aqueuses entraînées à la poussière qui tourbillonne au-dessus des grandes routes. Puisque les arbres, ainsi que le prouve une observation journalière, arrêtent la poussière, il n'est pas douteux qu'ils arrêteraient de même les molécules d'eau salée. Il faudrait faire des plantations, en rangs serrés, non-seulement sur les bords de la mer, mais autour des étangs et principalement du Valcarès. Il en faudrait surtout aussi à l'intérieur des propriétés. Leurs longues files, espacées de distance en distamce, seraient orientées de manière à former des abris contre les vents qui viennent de la mer et des étangs. Presque tous les arbres seraient propres à réaliser cet effet utile à l'intérieur des terres. Quant à ceux qu'il conviendrait de planter le long des rivages, nous pensons que les meilleurs seraient le pin pignon (*pinus pinea*) et le pin maritime (*pinus maritimus*). L'un et l'autre atteignent une hauteur de 15 à 20 mètres; ils résistent bien aux vents de la mer pendant l'hiver et croissent facilement dans les sables. Le pin pignon est un des principaux arbres de la forêt ou pinède, qui est sur la rive droite du Petit-Rhône; il est certain qu'il pourrait également prospérer sur le littoral de la Camargue. Le pin maritime, quoique plus rare dans le pays que l'espèce précédente, serait également susceptible de se propager sans difficulté.

L'efficacité des plantations pour diminuer la diffusion du sel n'est pas seulement probable théoriquement; elle paraît prouvée par des faits historiques que nous allons rapporter. La Camargue a été autrefois un pays bien boisé. Un passage de Lucain nous apprend que César fit construire à Arles douze vaisseaux, afin d'aller assiéger Marseille. Les matériaux ne purent être tirés que des forêts de la Camargue. Ces forêts subsistaient encore au commencement du

sixième siècle, du temps de saint Césaire, évêque d'Arles, qui y voyait errer des faons et des biches. Un autre fait, également attesté par les auteurs, est l'ancienne fertilité de la Camargue. Elle était appelée le grenier d'abondance et le magasin de vivres de toute la milice romaine. Aujourd'hui, ce pays produit peu de blé, ce qui doit être attribué à trois causes : la sécheresse pendant l'été, le défaut d'écoulement des eaux pluviales pendant l'hiver, à cause de l'horizontalité du sol, enfin surtout l'abondance du sel. Il est certain que ni le climat ni la pente du sol n'ont changé depuis l'époque romaine. Il reste l'abondance du sel, qui était sans doute moindre que de nos jours. Cette diminution ne peut s'expliquer qu'en admettant que les forêts étaient alors un obstacle à son invasion. On doit conclure de là que le boisement du sol, combiné de manière à abriter les terres contre les vents impétueux qui viennent de la mer et des étangs, serait une opération d'une importance extrême pour l'agriculture de ce pays.

Indépendamment du bienfait immense d'une diminution dans la salure du sol, des plantations d'arbres résineux procureraient à la Camargue des matériaux de construction qui lui manquent complétement. On sait que le bois du pin pinier est excellent pour la charpente, la marine et la menuiserie. Le pin maritime serait également utile sous ces divers rapports, et, en outre, on pourrait en extraire, comme dans les Landes, de la térébenthine, du brai, du goudron et du noir de fumée.

Résumé. — Nous résumerons de la manière suivante les faits les plus importants contenus dans cette note.

1° Le sel dont est imprégné le sol de la Camargue a la même origine que celui des autres terrains situés aux environs de la mer ; si sa proportion est ici plus forte, cela est dû uniquement aux conditions topographiques exceptionnelles dans lesquelles la contrée se trouve placée.

2° La théorie et l'expérience indiquent que l'on peut com-

battre les effets nuisibles de cette substance en empêchant, par une couverture de roseaux étendue à la surface du sol, que l'évaporation y soit trop active, ou, surtout, en ameublissant les terres de manière à les rendre très-perméables.

3° On diminuerait d'une manière notable la quantité de sel que les vents impétueux projettent à la surface de la Camargue, en créant contre eux des abris qui seraient obtenus sans beaucoup de frais, en faisant le long de la mer, autour des étangs et à l'intérieur des terres, de nombreuses plantations d'arbres en rangées convenablement orientées. La coïncidence de l'existence d'anciennes forêts dans le pays, avec une fertilité plus grande de son sol, rend probable l'efficacité de ce procédé.

FORMULES

RELATIVES AUX INDICATIONS DU MANOMÈTRE MÉTALLIQUE DE M. BOURDON.

Par M. RÉSAL, ingénieur des mines.

Déterminer la relation qui existe entre la pression intérieure, la température et les indications du manomètre métallique de M. Bourdon, tel est le problème que je me suis proposé de résoudre.

On sait que le tube métallique, qui forme la partie essentielle de l'instrument, est engendré par un profil limité par deux courbes parallèles, ayant deux axes de symétrie, qui se meut de manière que son plan reste constamment normal à une directrice plane que son centre est assujetti à parcourir, et que son petit axe soit compris dans le plan de cette directrice. L'extrémité du tube par où arrive la vapeur est invariablement maintenue dans un encastrement. L'autre extrémité, qui est libre, est fermée par une face plane dont le centre se trouve en rapport avec une aiguille par une transmission (*).

Soient :

ω la section intérieure du tube,

e son épaisseur supposée très-petite,

χ le périmètre de la courbe moyenne de la section ou équidistante de celles qui limitent le profil,

p la pression effective ou la différence entre la pression dans le tube et la pression extérieure. En raison de la peti-

(*) Cette description sommaire se rapporte aux pièces soignées désignée sous le nom de *manomètre étalon*.

tesse de e, on peut, sans erreur sensible, supposer que la pression extérieure est nulle et que la pression intérieure, égale à p, est uniformément répartie sur la surface moyenne ou équidistante des surfaces intérieure et extérieure du tube;

s la longueur, à l'état naturel, d'un arc de la directrice compté à partir de l'encastrement,

$s\,(1+\delta_s)$ ce que devient cet arc sous la pression p,

E le coefficient d'élasticité de la matière supposée isotrope.

Considérons la section normale à la directrice correspondant à l'arc s. D'après un théorème connu, la résultante des pressions sur toute la portion du tube comprise entre son extrémité libre et la section ci-dessus est normale à cette section, passe par son centre de gravité et est égale au produit de son aire par p. On a donc :

$$(1) \qquad E e \chi \delta_s = p\omega.$$

A la vérité, en posant cette équation, nous avons négligé les variations éprouvées e, χ, ω, mais comme les déplacements correspondants sont fort petits, de même que δ_s, l'erreur commise n'est pas appréciable.

Il suit de là que la dilatation δ_s de la directrice est constante et proportionnelle à la pression. On voit également que les composantes de glissement dans chaque section normale s'entre-détruisent.

Cela posé, prenons pour origine des coordonnées le centre Θ' (Pl. IX, *fig.* 3) de la section, et pour partie positive de l'axe des x le prolongement au delà du centre de courbure de la normale à la directrice. Soit s_1 l'arc correspondant à s décrit par un point de l'aire de la génératrice situé à la distance x de Θ'y; le rayon de courbure de la directrice étant désigné par r ou a,

$$ds_1 = \left(1+\frac{x}{r}\right) ds,$$

et après le déplacement, en accentuant les lettres,

$$ds'_1 = \left(1 + \frac{x'}{r'}\right) ds'.$$

Mais

$$ds'_1 = (1 + \delta_o) ds = \frac{(1 + \delta_o) ds_1}{1 + \frac{x}{r}},$$

par suite

$$\frac{ds'_1 - ds_1}{ds_1} = \frac{\frac{x}{r'} - \frac{x}{r} + \delta_o}{1 + \frac{x}{r}};$$

et comme la somme des moments des forces élastiques développées dans la section considérée par rapport à $\Theta' y$ est nulle, de même que celle qui est relative aux pressions, on a, en désignant par du un élément de la section correspondant à l'abscisse x et intégrant pour toute la section :

$$\mathrm{E} \int \frac{\frac{x'}{r_1} - \frac{x}{r}}{1 + \frac{x}{r}} x\,du + \mathrm{E}\delta_o \int x\,du = 0;$$

ou, puisque Θ' est le centre de gravité de la section,

$$\int \frac{\frac{x'}{r'} - \frac{x}{r}}{1 + \frac{x}{r}} x\,du = 0.$$

Soient A′, A″ les sommets de la courbe moyenne respectivement situés sur les parties positive et négative de l'axe des x ; B′, B″ ceux qui se trouvent sur les parties positive et négative de l'axe des y. L'intégrale précédente relative à la section totale étant double de celle qui correspond à A′BA″, il suffit d'égaler à zéro cette dernière qui est la

somme de celles qui correspondent à A'B', B'A" et il est clair que l'on peut écrire :

$$\int \frac{\frac{x'}{r'}-\frac{x}{r}}{1+\frac{x}{r}} x du + \int \frac{\frac{x'}{r'}-\frac{x}{r}}{1-\frac{x}{r}} x du = 0,$$

la seconde de ces intégrales se rapportant à l'aire B'A" pour laquelle on convient de compter les x positifs de Θ' vers A", c'est-à-dire dans le sens opposé à celui des x positifs de A'B'. Cette décomposition en deux intégrales a pour objet de faciliter des réductions de termes dans les calculs ultérieurs.

Posons $r = r\ (1+\delta_r)$; puis $x = x\ (1+\delta_x)$, pour A'B', et $x' = x\ (1+\delta'_x)$ pour B'A"; en ne conservant que les premières puissances des déplacements relatifs désignés par la caractéristique δ ou δ', on obtient :

$$\int \frac{x^2\delta_x du}{1+\frac{x}{r}} + \int \frac{x^2\delta'_x du}{1-\frac{x}{r}} + \delta_r \left[\int \frac{x^2 du}{1+\frac{x}{r}} + \int \frac{x^2 du}{1-\frac{x}{r}} \right] = 0.$$

La fraction $\frac{x}{r}$ ne dépassant pas ordinairement $^1/_{20}$ on peut sans grande erreur en négliger les puissances supérieures à la première, de sorte qu'il vient tout simplement :

$$(2) \quad \int x^2 \left(1-\frac{x}{r}\right) \delta_x du + \int x^2 \left(1+\frac{x}{r}\right) \delta'_x du = Ie\delta_r,$$

en désignant par $2\,I\,e$ l'intégrale

$$\int x^2 du,$$

prise pour toute la section, c'est-à-dire le moment d'inertie de cette section par rapport à $\Theta'y$.

Appelons σ la longueur de l'arc de la courbe moyenne de

la section se terminant en un point quelconque M, commençant en A′ pour A′B′ et en A″ pour A″B′;

ρ le rayon de courbure en M avant la déformation;

θ L'angle que forme sa direction avec $\Theta'A'$ ou $\Theta'A''$ selon qu'il s'agit de A′B′ ou A″B′.

Les variations continuant à être représentées respectivement par δ et δ' pour les deux derniers arcs, soient,

$$d\sigma' = d\sigma(1 + \delta_\sigma \text{ ou } \delta'_\sigma), \quad \rho' = \rho(1 + \delta_\rho \text{ ou } \delta'_\rho),$$

et θ' ce que deviennent $d\sigma, \rho, \theta$, après la déformation. L'épaisseur e étant très-faible, on peut supposer, sans grande erreur, que δ_x ou δ'_x a la même valeur pour tous les points d'une même normale, égale, par conséquent, à celle qui correspond à la courbe moyenne, et poser

$$du = e d\sigma,$$

et de même

$$I = \int^{\frac{\chi}{2}} x^2 d\sigma,$$

$2I$ devenant le moment d'inertie de la courbe moyenne par rapport à $\Theta'y$; l'équation (2) devient

$$(3) \quad \int_0^{\frac{\chi}{4}} x^2\left(1 - \frac{x}{r}\right)\delta_x d\sigma + \int_0^{\frac{\chi}{4}} x^2\left(1 + \frac{x}{r}\right)\delta'_x d\sigma = I\delta_r.$$

Maintenant on a:

$$\frac{dx}{d\sigma} = -\sin\theta, \quad \frac{dx'}{d\sigma} = -\sin\theta', \quad \frac{dy}{d\sigma} = \cos\theta, \quad \frac{dy}{d\sigma} = \cos\theta',$$

ou en négligeant les termes du second ordre en δ et $\theta' - \theta$,

$$\frac{dx'}{d\sigma} = -\sin\theta' + \frac{dx}{d\sigma}\,d\sigma, \quad \frac{dy'}{d\sigma} = \cos\theta' + \frac{dy}{d\sigma}\,\delta_\sigma,$$

$$\frac{d\theta'}{d\sigma} - \frac{d\theta}{d\sigma} = \frac{1}{\rho(1+\delta_\rho)} - \frac{1}{\rho} = -\frac{\delta_\rho}{\rho},$$

$$\frac{d\theta' - d\theta}{d\sigma} = \frac{1}{\rho}(\delta_\sigma - \delta_\rho).$$

De la symétrie admise pour ce profil et de la nature de la question résulte la condition $\theta' = \theta = 0$ pour $\sigma = 0$; de sorte que l'on a

$$(4) \qquad \theta' - \theta = \int_0^\sigma (\delta_\sigma - \delta_\rho)\frac{d\sigma}{\rho} = \int_0^\theta (\delta_\sigma - \delta_\rho)\,d\theta,$$

$$\sin\theta' - \sin\theta = \cos\theta \, . \, (\theta' - \theta) = \cos\theta \int_0^\theta (\delta_\sigma - \delta_\rho)\,d\theta;$$

d'où

$$\frac{dx}{d\sigma}\delta\sigma - \frac{d(x'-x)}{d\sigma} = \cos\theta \int_0^\theta (\delta_\sigma - \delta_\rho)\,d\theta,$$

et comme

$$x' - x = x\delta_x, \quad \cos\theta d\sigma = dy,$$

il vient enfin :

$$(5) \qquad x\delta_x = \int_0^x \delta_\sigma dx - \int_B^y dy \int_0^\theta (\delta_\sigma - \delta_\rho)\,d\theta,$$

et de même,

$$x\delta' x = \int_0^x \delta'_x dx - \int_B^y dy \int_0^\theta (\delta'_\sigma - \delta'_\rho)\,d\theta.$$

L'équation (3) devient ainsi :

$$(6)\left\{\begin{aligned} I\delta_r = & \int_0^{\frac{\chi}{4}} x\left(1 - \frac{x}{r}\right) d\sigma \left[\int_0^x \delta_\sigma dx - \int_B^y dy \int_0^\theta (\delta_\sigma - \delta_\rho)\,d\theta\right] \\ & + \int_0^{\frac{\chi}{4}} x\left(1 + \frac{x}{r}\right) d\sigma \left[\int_0^x \delta'_\sigma dx - \int_B^y dy \int_0^\theta (\delta'_\sigma - \delta'_\rho)\,d\theta\right]. \end{aligned}\right.$$

Avant de déterminer les déplacements relatifs δ_σ, δ'_σ, δ_ρ, δ'_ρ, il est indispensable de bien préciser les conditions dans les-

quelles nous devons poser le problème. En premier lieu, on peut concevoir, pour fixer invariablement la direction du premier élément de la directrice, un système tel, qu'il n'ait pas d'influence sensible sur les dilatations longitudinales et transversales du tube. D'un autre côté, la directrice affecte généralement la forme d'un arc de cercle ou d'une hélice d'un faible pas, ce dernier cas rentrant dans le précédent, en considérant le tube, s'il y a lieu, comme formé de plus d'une circonférence. Le problème ainsi simplifié présente encore de grandes difficultés, en raison des surfaces planes qui ferment les deux bouts du tube et qui doivent avoir une influence sensible sur ses dilatations, ou du moins, dans une zone adjacente plus ou moins étendue ; mais comme nous voulons surtout faire ressortir l'influence de l'action de la vapeur sur la courbure du tube, nous ferons abstraction de la cohésion des faces planes ci-dessus avec le tube estimée dans le plan de ces faces.

Ces hypothèses admises, rien ne s'oppose maintenant à ce que l'on considère les composantes élastiques de chaque catégorie, comme identiques dans toutes les sections normales à la directrice.

Cela posé, considérons l'arc A'B' et soient (*fig.* 3) :

(O, O') le centre de la directrice ;

(A, A') l'extrémité extérieure du petit axe de la ligne moyenne de la section ;

(M, M'), (M M''), deux points de cette ligne, symétriques par rapport à (O A, O' A') ;

(C, C'), l'intersection de (O A, O' A') avec les normales menées aux points précédents;

OM_1, une section normale à la directrice infiniment voisine de O A et faisant, avec cette dernière, l'angle $d\varphi$;

N_t, T_t, S_t les composantes élastiques par unité de surface, développées dans les sections projetées verticalement suivant M'C', M''C' et limitées par les plans OM, OM_1 ; la première de ces composantes est normale aux mêmes faces ;

la seconde est dirigée vers le point C' ; et la troisième est perpendiculaire au plan vertical de projection ;

N_a, la résultante élastique normale relative aux forces projetées horizontalement suivant OM, OM_1, et limitées par les plans C'M', C'M''.

En vertu de la symétrie, il est clair que les résultantes de glissement dans les faces seront respectivement dirigées suivant O A, O A_1. Nous représenterons leur intensité par U_a.

Si l'on exprime que les forces qui sollicitent le volume (M'M'', MM_1) se font équilibre, que la somme de leurs composantes perpendiculaires à O A est nulle, ainsi que celle des moments pris par rapport à la verticale projetée en A, on reconnaît, en négligeant le moment dû à p qui est du second ordre,

$$S_b = o, \quad U_a = o.$$

Concevons maintenant, dans le volume précédent, un élément déterminé par la face $a'a'$ normale au plan vertical OM, et par une face semblable $a'_1 a'_1$, correspondant au point M', infiniment voisin du précédent, et soit P' le centre de courbure en M' de la courbe moyenne (Pl. IX, *fig.* 4). On a :

$$M'P'M'' = d\theta = \frac{d\sigma}{\rho}.$$

La face $a'a'a'_1a'_1$ et son opposée, sont sollicitées par les forces normales $-N_a e d\sigma$, $N_a e d\sigma$, en désignant maintenant par N_a leur intensité rapportée à l'unité de surface ; par des composantes de glissement de la forme $-e d\sigma T_a$, $e d\sigma \left(T_a + \frac{dT_a}{d\varphi} d\varphi\right)$ suivant $a'a'$ et le côté opposé ; $-e d\sigma S_a$, $e d\sigma \left(S_a + \frac{dS_a}{d\varphi} d\varphi\right)$ respectivement perpendiculaires aux précédentes. Les composantes normales aux faces projetées en $a'a'$, $a'_1a'_1$ seront :

$$-N_b(r+x)\,d\varphi, \qquad N_b(r+x)\,d\varphi + \frac{dN_b(r+x)}{d\sigma}\,d\sigma\,d\varphi,$$

et les composantes tangentielles correspondantes,

$$-(r+x)T_b\,d\varphi,\quad (r+x)\,T_b\,d\varphi+\frac{d\,T_b(r+x)}{d\sigma}d\sigma\,d\varphi.$$

Enfin la pression p donne la composante $p\,(r+x)\,d\varphi\,d\sigma$ que l'on peut considérer comme dirigées suivant MF',

En exprimant qu'il y a équilibre, et supprimant le facteur commun $d\varphi\,d\sigma$, on trouve :

$$(7)\quad\left\{\begin{aligned}&T_a=0,\\&\frac{dT_b(r+x)}{d\sigma}-N_a+\frac{p}{e}(r+x)-N_b\frac{(r+x)}{\rho}=0,\\&\frac{dN_b(r+x)}{e\,d\sigma}=0.\end{aligned}\right.$$

La composante T_a étant nulle, il doit en être de même de S_a; car autrement, en vertu de symétrie, toutes les composantes de glissement dues à S_a réparties sur la face M'M'' (*fig.* 3) donneraient une résultante dirigée suivant (OA, O'A'), tandis que nous avons plus haut démontré le contraire.

On a donc :

$$(8)\qquad N_b\,(r+x)=\text{constante}.$$

Pour déterminer cette constante supposons que les points M' et M'' (*fig.* 3) viennent se placer aux sommets B' et B'' du grand axe de la section que nous désignerons par 2B, et soit 2A la longueur du petit axe. Les pressions donneront suivant (OA, O'A') une résultante égale au produit de p par la projection de la surface B'A'B'' sur le plan vertical Θ'B'. De la composante élastique normale à la face OA_1, égale à $\frac{p\omega}{2}$, résultera, suivant la même direction que ci-dessus, une composante qui ne sera autre chose que celle prise en sens contraire de la pression p, uniformément répartie sur l'aire (B'A'B'', OA_1). De sorte que, en définitive, ces deux systèmes

de forces ont une résultante égale au produit de p par le rectangle déterminé dans le plan B′B″ par les limites de l'élément considéré de la surface moyenne du tube. Il vient ainsi :

$$(8)\qquad 2[N_b(r+x)]\,e_{x=0} = 2pBr = 2N_b(r+x)e;$$

d'où

$$(9)\qquad N_b = \frac{pB}{e}\left(1-\frac{x}{r}\right) = E\delta_\sigma;$$

par suite

$$(10)\qquad \delta_\sigma = \frac{pB}{Ee}\left(1-\frac{x}{r}\right),$$

et de même

$$(10')\qquad \delta'_\sigma = \frac{pB}{Ee}\left(1+\frac{x}{r}\right).$$

La seconde des équations (7) fera connaître T_b par une intégration. En supposant que M′ et M″ sont infiniment voisins de A′, on reconnaît que pour ce point, ou pour $\sigma = 0$, la composante ci-dessus est nulle, ce qui permet d'éliminer la constante introduite par l'intégration ; mais nous ne nous arrêterons pas à cette recherche, qui ne nous serait d'aucune utilité.

En substituant les valeurs (10) et (10′) dans l'équation (4) et remarquant que $\rho = \dfrac{d\sigma}{d\theta}$, on trouve en réduisant :

$$(11)\quad \left\{\begin{aligned} \delta_r = {} & \frac{pB}{Ee} - \frac{2pB}{EeI}\int_0^{\frac{\chi}{4}} x\,d\sigma\int_B^y \theta\,dy + \frac{1}{I}\int_0^{\frac{\chi}{4}} x\left(1-\frac{x}{r}\right)d\sigma\int_B^y dy\int_0^\sigma \frac{\delta_\rho}{\rho}\,d\sigma \\ & + \frac{1}{I}\int^{\frac{\chi}{4}} x\left(1+\frac{x}{r}\right)d\sigma\int_B^y dy\int_0^\sigma \frac{\delta'_\rho}{\rho}\,d\sigma. \end{aligned}\right.$$

Il nous reste maintenant à déterminer la variation δ_ρ dont nous déduirons ensuite la variation δ'_ρ. A cet effet considérons la portion A′B′ de l'anneau, limité par les plans OA, O′A′ comme une pièce encastrée en A′, sollicitée par la pres-

sion uniforme p et par les réactions élastiques en B′. En faisant abstraction du facteur $d\varphi$, que l'on serait obligé de supprimer par la suite, le moment d'inertie d'une section normale sera :

$$(r+x)\frac{e^2}{12};$$

et l'on aura,

$$(12)\qquad -\mathrm{E}(r+x)\frac{e^3}{12}\frac{\delta_\rho}{\rho}$$

pour l'accroissement du moment des forces élastiques dans cette section, en faisant abstraction des dilatations longitudinales dont nous n'avons plus maintenant à tenir compte.

Soit m' (*fig* 3) la projection de M′ sur B′Θ′; les pressions sur la surface B′M′ se réduisent aux résultantes de celles qui s'exercent sur les projections de cette surface sur le plan horizontal et le plan vertical projeté en B′Θ′. Ces projection étant des trapèzes, on trouve sans difficulté pour leurs moments par rapport à M′:

$$-\frac{pr}{2}\left(1+\frac{x}{3r}\right)(\mathrm{B}-y)^2,\quad -\frac{pr}{2}\left(1+\frac{x}{3r}\right)x^2.$$

La composante de glissement correspondante, dirigée suivant B′m', sera égale à la composante verticale des pressions sur A′B′, diminuée de la composante élastique verticale en A′, de sorte que son moment est :

$$pr\left[\mathrm{A}\left(1+\frac{\mathrm{A}}{2r}\right)-\mathrm{B}\right]y.$$

La force élastique horizontale en B′ donne le moment :

$$p\mathrm{B}r(\mathrm{B}-y).$$

Soit y_1 l'ordonnée du centre de gravité de l'arc M′B′. Les

forces élastiques normales au plan OM_1 ont pour résultante :

$$N_a c\left(\frac{\chi}{4}-\sigma\right),$$

ou

$$\frac{p\omega}{\chi}\left(\frac{\chi}{4}-\sigma\right),$$

en prenant

$$N_a = E\delta_s = \frac{Ep\omega}{\chi}\,(*).$$

Cette résultante passe par le centre de gravité ci-dessus et a pour composante suivant $\Theta' x$:

$$\frac{p\omega}{\chi}\left(\frac{\chi}{4}-\sigma\right)d\varphi;$$

d'où résulte, abstraction faite du facteur $d\varphi$, le moment

$$\frac{p\omega}{\chi}\left(\frac{\chi}{4}-\sigma\right)(y_1-y)y.$$

En égalant à l'expression (12) la somme des moments ci-dessus, augmentée du moment par rapport à B′ des forces élastiques développées dans la section, passant par ce point, et que nous désignerons par prC, on trouve :

$$(13)\left\{\begin{aligned}\frac{\delta\rho}{\rho} = -12p\frac{\left(1-\frac{x}{r}\right)}{Ee^3}\Bigg\{\left\{\frac{\omega}{r}\left(\frac{1}{4}-\frac{\sigma}{\chi}\right)(y_1-y)+B(B-y)+\right.\\ +y\left[A\left(1+\frac{A}{2r}\right)-B\right]\\ -\frac{1}{2}\left(1+\frac{x}{3r}\right)[(B-y)^2+x^2)]+C\Bigg\}.\end{aligned}\right.$$

(*) On néglige dans cette expression le terme représentant l'influence de la différence dans les dilatations entre le point Θ′ et les points de la section. Mais comme ce terme est de l'ordre de $\frac{x}{r}$, que le moment que l'on a en vue de calculer est du même ordre, il n'y a pas lieu d'en tenir compte.

L'expression de $\frac{\delta'_\rho}{\rho}$ se déduira de la précédente en y remplaçant $\frac{x}{r}$ par $-\frac{x}{r}$, $\frac{A}{r}$ par $-\frac{A}{r}$, et changeant le signe du terme dépendant de la force qui tend ici à diminuer la courbure et qui est de l'ordre de $\frac{x}{r}$. Si l'on fait ensuite les substitutions dans la formule (11), on trouve :

$$(14)\quad \left\{\begin{aligned} \delta_r &= \frac{pB}{Ee} - \frac{2pB}{EIe}\int_0^{\frac{\chi}{4}} x d\sigma \int_B^y \theta dy - \\ &- \frac{24p}{EIe^3}\int_0^{\frac{\chi}{4}} x d\sigma \int_B^y dy \left[Ay - \frac{1}{2}(y^2+x^2) + \frac{B^2}{2} + C\right] d\sigma. \end{aligned}\right.$$

Pour calculer la constante C, nous remarquerons que, d'après la formule (3), on a pour $\theta = \frac{\pi}{2}$:

$$\theta' = \frac{\pi}{2} + \int_0^{\frac{\pi}{2}} (\delta_\sigma - \delta_\rho)\, d\theta, \quad \theta' = \frac{\pi}{2} + \int^{\frac{\pi}{2}} (\delta'_\sigma - \delta'_\rho)\, d\theta,$$

et comme les arcs A'B', A''B' ont une tangente commune en B', la somme de ces deux angles doit être égale à π. Il vient donc :

$$\int_0^{\frac{\pi}{2}} (\delta_\sigma - \delta'_\sigma - \delta_\rho - \delta'_\rho) = 0,$$

et en ayant égard aux valeurs (10) et (13) et à la relation $\rho d\theta = d\sigma$, il vient

$$(15)\quad C = \frac{B\pi e^2}{12\chi} - \frac{2}{\chi}\int_0^{\frac{\chi}{4}} \left[Ay - \frac{1}{2}(y^2 + x^2) + \frac{B^2}{2}\right] d\sigma.$$

Avant d'aller plus loin, nous ferons remarquer que, en raison de la petitesse de e, les valeurs (14) et (15) se ré-

deux côtés rectilignes égaux parallèles à l'axe des y et raccordés par deux demi-cercles. Mais nous n'entrerons pas dans ce détail de calcul qui ne peut d'ailleurs présenter aucune difficulté. Qu'il nous suffise de faire remarquer, d'après les résultats que nous venons d'obtenir, qu'un manomètre est d'autant plus sensible que les rapports de la largeur et de l'épaisseur du tube à sa hauteur sont plus petits.

Nous ne nous occuperons pas ici de la question relative à la résistance du tube, qui offre peu d'intérêt relativement à la complication des calculs qu'elle comporte.

En appelant h et k deux constantes pour un même manomètre, la première étant très-petite par rapport à la seconde, on peut poser :

$$(19) \qquad \delta_s = hp, \quad \delta_\rho = kp.$$

Supposons que le manomètre prenne une température différente de la température moyenne, qui est censée correspondre à la mesure des longueurs s et r, nous aurons, en appelant t la variation de la température et α le coefficient de la dilatation de la matière :

$$(20) \qquad \delta_\rho = hp + \alpha t, \quad \delta_r = kp + \alpha t.$$

La courbe directrice affecte ordinairement la forme d'un arc de cercle ou d'une hélice d'un faible pas ; mais ce dernier cas rentre très-sensiblement dans le premier, en considérant ce tube comme composé de plusieurs circonférences ; soient (*fig.* 5) :

C le centre du cercle à l'état naturel,

B l'extrémité de l'arc,

l la longueur de cet arc,

n le nombre entier de circonférences contenues dans l,

A le point d'encastrement,

C', B' les positions que prennent les points C et B sous l'action de la pression p.

Joignons les points BB′ par la droite BB′T et abaissons les perpendiculaires BF et CG sur C′B′. Nous aurons, en négligeant les puissances de $\frac{\delta_l}{\delta_r}$ supérieures à la première :

$$\widehat{ACB} = \frac{l}{r} - 2(n+1)\pi,$$

$$\widehat{A'C'B'} = \frac{l(1+\delta_l)}{r(1+\delta_r)} - 2(n+1)\pi = \frac{l}{r}(1+\delta_l-\delta_r) - 2(n+1)\pi,$$

$$CC' = r\delta_r, \quad C'B' = r(1+\delta_r),$$

$$C'B' = r(1+\delta_r) = C'G + GF + FB' = r\delta_r \cos\frac{l}{r} + r + FB',$$

$$BF = \delta_r\left(r\sin\frac{l}{r} - l\right) + l\delta_l,$$

$$\operatorname{tang} CB'B = \operatorname{tang} CBT = \frac{r\sin\frac{l}{r} - l + \frac{l\delta_l}{\delta_r}}{r\left(1-\cos\frac{l}{r}\right)},$$

$$BB = \delta_r \left\{ \begin{array}{l} \sqrt{2r^2 + l^2 - 2rl\sin\frac{l}{r} - 2r^2\cos\frac{l}{r}} \times \\ \times \left[1 + \frac{\delta_l}{\delta_r} \frac{\left(r\sin\frac{l}{r} - l\right) l}{\sqrt{2r^2 + l^2 - 2rl\sin\frac{l}{r} - 2r^2\cos\frac{l}{r}}}\right]. \end{array} \right.$$

Si l'on néglige $\frac{\delta_l}{\delta r}$, et par suite l'influence de la température, l'angle CBT sera constant, et le lien géométrique des points B′ sera sensiblement une droite pour l'étendue considérée. Pour plus de simplicité, nous nous bornerons à nous placer dans cette hypothèse qui conduit à

$$\operatorname{tang} CBT = \frac{r\sin\frac{l}{r} - l}{r\left(1-\cos\frac{l}{r}\right)},$$

$$BB' = \delta_r \sqrt{2r^2 + l^2 - 2r\left(l\sin\frac{l}{r} + r\cos\frac{l}{r}\right)}.$$

Dans les manomètres-étalons, l'axe des aiguilles se trouve en I sur CA; une manivelle CD' vient s'articuler en D' à une bielle D'B', articulée elle-même d'autre part à l'extrémité B' du tube. Si B' se déplace, le centre instantané de rotation se trouve à l'intersection K de la direction de ID' et de la perpendiculaire élevée en B' à la droite B'T', et une construction géométrique permet de déterminer le déplacement de l'aiguille.

En général, on a à très-peu près ID' = IA, longueur que nous désignerons par β; si l'on abaisse du point I sur BT la perpendiculaire IP, que l'on appelle θ' l'angle D'IP, et λ la longueur B'D' de la bielle, on a :

$$\lambda^2 = (\beta \cos\theta' + \mathrm{IP})^2 + (\beta \sin\theta' + \mathrm{B'P})^2.$$

Si θ est la valeur de θ' correspondant au point B, on a de même :

$$\lambda^2 = (\beta \cos\theta + \mathrm{IP})^2 + (\beta \sin\theta + \mathrm{BP})^2.$$

En retranchant ces deux équations l'une de l'autre et négligeant les termes du second ordre en BB' = B'P — BP, on trouve :

$$\mathrm{CP}(\cos\theta - \cos\theta') + \mathrm{BP}(\sin\theta' - \sin\theta) + \mathrm{BB'}\left(\sin\theta' + \frac{\mathrm{PB}}{r}\right) = 0,$$

formule qui fera connaître θ' ou $\theta' - \theta$, et qui à la rigueur permettra de graduer l'instrument. Nous n'insisterons pas davantage sur ce point d'ailleurs très-secondaire de la question que nous avions eu en vue de traiter.

NOTE

SUR LE DOSAGE DU SOUFRE DANS LE FER ET LES MINERAIS DE FER.

Par M. W. EGGERTZ, professeur à l'École des mines de Falun.

Comme de petites quantités de soufre, ne serait-ce que quelques dix-millièmes, suffisent pour rendre le fer, même celui d'excellente qualité, rouverin et impropre à certains usages, il serait d'une grande utilité de pouvoir apprécier la quantité de soufre qui existe dans le fer, non-seulement avec une précision scientifique suffisante, mais aussi avec une facilité et une exactitude répondant aux besoins pratiques.

Mais comme les méthodes ordinairement employées à cet effet (surtout en ce qui concerne la pratique) laissent trop à désirer, je me suis occupé pendant plusieurs années d'améliorer les procédés connus, et je me propose de résumer ici les résultats de mes recherches.

J'ai trouvé dans ces travaux difficiles, surtout relativement au dosage du soufre dans le fer par procédé analytique, un concours utile de la part de M. J.-E. Sieurin et de quelques autres élèves de l'École des mines de Falun; mais j'ai surtout à me louer des excellents services de M. J.-F. Lundberg.

A. DOSAGE DU SOUFRE AU MOYEN DU CHLORURE DE BARYUM.

1° *Fer.*

5 grammes de fer passés dans un tamis, ayant des ouvertures de $0^{mm},6$ au plus, sont ajoutés à une solution de 10 grammes de chlorate de potasse dans 200 centimètres

cubes d'eau (*) et contenus dans une fiole d'une capacité de 500 centimètres cubes.

On couvre cette fiole avec un verre de montre et on chauffe le contenu sur un bain de sable jusqu'à l'ébullition complète; puis l'on y ajoute peu à peu 60 centimètres cubes d'acide hydrochlorique d'un poids spécifique de 1.12.

On fera bien de laisser tomber l'acide hydrochlorique d'abord goutte à goutte, d'une burette, sans quoi un fort dégagement de gaz aurait lieu. Mais, au fur et à mesure que ce dégagement diminue, on peut ajouter de plus grandes quantités d'acide; ordinairement il faut une demi-heure pour cette opération; et pendant ce temps, la solution doit être maintenue en ébullition complète, afin qu'il ne s'échappe pas de gaz sulfhydrique. On laisse enfin la liqueur bouillir doucement encore pendant 5 à 10 minutes. De cette façon, le charbon et une partie de l'acide silicique restent insolubles, et souvent aussi une substance brune floconneuse ou pulvérulente qui ressemble à de l'oxyde de fer hydraté, et se compose d'un produit géique, analogue à l'humus, lequel est formé par le charbon du fer. Pendant la dissolution, il se détache quelquefois aussi du soufre qui vient nager à la surface. Pour oxyder ce soufre et pour chasser la grande masse de chlore et d'acide hydrochlorique qui se trouvent dans la dissolution, celle-ci doit être évaporée au bain-

(*) Comme il est rarement possible d'obtenir des réactifs et de l'eau qui soient complétement exempts d'acide sulfurique, il ne faut pas oublier en opérant sur le fer d'examiner ces réactifs avec soin, ce qui se fait facilement, en mêlant 10 grammes de chlorate de potasse à 200 centimètres cubes d'eau et 60 centimètres cubes d'acide hydrochlorique et en évaporant le tout à sec au bain-marie. On ajoute ensuite sur le résidu 5 centimètres cubes d'acide chlorhydrique et 150 centimètres cubes d'eau, puis on précipite avec 2 centimètres cubes d'une solution de chlorure de baryum saturée.

On détermine enfin la quantité de sulfate de baryte qui s'est formée. Le poids de ce dernier corps doit être soustrait de ceux qu'on obtient en dosant le soufre sur le fer.

marie jusqu'à dessiccation complète ; toutefois il faut d'abord nettoyer les parois de la fiole et son couvercle avec une pissette à eau ordinaire (distillée) (et changer le verre de montre contre du papier). S'il y a beaucoup de soufre à la surface, il faut attendre le moment où il a disparu pour faire cet échange du papier. Lorsque la solution a pris une consistance sirupeuse, on peut hâter la dessiccation en remuant vivement avec un agitateur en verre. On ajoute à la masse sèche o^{mc},10 d'acide hydrochlorique et o^{mc},30 d'eau, après quoi on laisse le mélange sur le bain-marie jusqu'à ce que tous les cristaux de chlorure de fer soient dissous. Ensuite on ajoute un peu plus d'eau, environ o^{mc},20 et l'on recueille la substance insoluble sur un filtre disposé avec soin, en la lavant le mieux possible avec de l'eau chaude. Il arrive parfois que pendant le lavage, les matières organiques restées sur le filtre se dissolvent et se précipitent de nouveau au contact de la solution acidulée, mais on les redissout facilement en faisant bouillir la liqueur. La dernière eau de lavage ne doit point avoir un goût aigre ; évaporée et rougie sur une feuille de platine, elle ne doit laisser aucune tache apparente.

La liqueur filtrée, dont le volume est d'environ o^{mc},150 doit être promptement portée à l'ébullition et additionnée de o^{mc},02 cubes d'une solution de chlorure de baryum. (Cette quantité est suffisante pour la précipitation de l'acide sulfurique formée par o^{g},1 de soufre.) Après le refroidissement il faut ajouter au mélange o^{mc},05 d'ammoniaque d'un poids spécifique de o^{g},95, puis remuer vivement avec un agitateur et laisser le tout en repos pendant vingt-quatre heures au moins à la température ordinaire. La solution claire doit être décantée d'une manière aussi complète que possible sur un filtre de papier suffisamment fort, et le précipité de la fiole est ensuite agité avec environ o^{mc},20 d'eau froide, puis abandonné à lui-même jusqu'à ce qu'il se soit complétement déposé. Si on se sert d'eau chaude

sans avoir ajouté quelques gouttes d'acide hydrochlorique, un peu d'oxyde de fer se précipitera. La liqueur claire est jetée également sur le filtre, et on renouvelle l'opération plusieurs fois avec de l'eau froide, ensuite trois ou quatre fois avec de l'eau bouillante, sans quoi le sulfate de baryte passerait au travers du filtre. Enfin on recueille le précipité et on le lave soigneusement avec de l'eau chaude. Les dernières gouttes de cette eau, lorsqu'elles sont vaporisées sur un verre de montre, doivent laisser à peine un anneau blanc visible. Le précipité est alors séché, chauffé au rouge et pesé. S'il était coloré en rouge par l'oxyde de fer, il faudrait le laver avec un peu d'acide hydrochlorique, le faire sécher au bain-marie et le reprendre par quelques gouttes d'acide et d'eau, enfin répéter les opérations précédentes (lavage, dessiccation, chauffage et pesage). Si le précipité n'a qu'une faible couleur rouge, ce qui est souvent le cas, cette dernière opération devient inutile.

100 parties de sulfate de baryte contiennent 34,3 parties d'acide sulfurique ou 13,72 parties de soufre. Si l'on employait à cette expérience 5 grammes de fer, chaque 0,001 gramme de sulfate de baryte correspondrait à 0,00274 p. 100 de soufre dans le fer.

2° Minerais de fer.

5 grammes de minerai porphyrisé le plus finement possible dans un mortier d'agate sont traités avec du chlorate de potasse et de l'acide hydrochlorique de la même manière que le fer. Après la dessiccation et l'emploi de l'acide hydrochlorique et de l'eau, les substances insolubles peuvent être des sulfates de plomb, de chaux, de baryte, de strontiane, de l'acide silicique et du minerai non décomposé.

Cependant en remuant vivement et en filtrant la liqueur chaude, les deux premiers sels peuvent, le plus souvent, être dissous.

Le filtrage se fait à travers du papier fort ou plutôt avec un double filtre pour empêcher le minerai porphyrisé de passer. Lorsque la partie claire de la solution a été versée sur le filtre, on ajoute à la matière insoluble 5 centimètres cubes d'eau. Ensuite on laisse ce mélange au moins deux heures au bain-marie bouillant; en ayant soin de le remuer vivement, le sulfate de chaux se dissout complétement. On lave la partie insoluble avec de l'eau chaude et on la verse sur le filtre en ayant soin de placer en dessous une première fiole spécialement destinée à recueillir la portion de minerai qui pourrait passer à travers le filtre.

La précipitation de l'acide sulfurique se fait comme nous l'avons déjà dit. Après l'addition du chlorure de baryum et le refroidissement de la solution on ajoute 10 centimètres cubes d'ammoniaque.

Pour dissoudre le sulfate de plomb qui pourrait se trouver dans la matière insoluble, on enlève cette dernière du filtre avec une barbe de plume et on la fait passer dans une fiole où l'on a versé 10 centimètres cubes d'acétate d'ammoniaque concentré. La solution, après avoir été agitée vivement et chauffée au bain-marie est versée avec soin sur un filtre; on lave encore le résidu avec un peu d'acétate d'ammoniaque et on répète ce traitement jusqu'à ce que quelques centimètres cubes de la solution, acidulée avec un peu d'acide acétique ou d'acide hydrochlorique, ne soient plus troublés lorsqu'on les chauffe avec du chlorure de baryum; la liqueur filtrée est étendue légèrement acidulée et l'acide sulfurique est précipité par le chlorure de baryum après que le sulfate de plomb a été séparé. On pourrait encore trouver des sulfates de baryte et de strontiane dans les matières insolubles, quoiqu'on n'en ait pas encore rencontré dans les minerais de fer de Suède. Pour décomposer ces sels, les résidus seraient séchés, chauffés au rouge et pesés, puis fondus avec le quintuple de leurs poids de soude pure et sèche. La masse est mise en digestion avec de l'eau au

bain-marie, la liqueur est passée au filtre et le résidu lavé avec de l'eau chaude. L'acide silicique est séparé de la solution qui contient du silicate, du carbonate et du sulfate de soude par une addition d'acide hydrochlorique et par la dessiccation au bain-marie; après le filtrage on précipite la solution avec du chlorure de baryum.

Pour découvrir si le minerai de fer contient du plâtre ou d'autres sulfates solubles, on en prend 5 grammes; on les met dans 20 centimètres cubes d'acide hydrochlorique et 60 centimètres cubes d'eau distillée, et l'on place le tout pendant trois heures au bain-marie en le remuant vivement. La solution filtrée est additionnée de chlorure de baryum et de 15 centimètres cubes d'ammoniaque; puis on procède comme nous l'avons dit précédemment.

S'il se trouvait dans le minerai des grains de pyrite de fer, de cuivre ou de la galène, leur présence ne donnerait pendant l'opération, tout au plus, que des traces d'acide sulfurique.

— Pour apprécier l'exactitude de la méthode qui vient d'être décrite, on a fait les expériences suivantes :

1° Du fer sulfuré, le produit chimique que l'on emploie d'ordinaire pour la préparation de l'hydrogène sulfuré, fut dissous suivant le procédé indiqué (avec du chlorate de potasse, de l'acide hydrochlorique et de l'eau), dans une cornue munie d'un tube de verre plongeant dans une solution de sulfate de cuivre. Dans la solution on n'a pu découvrir le moindre précipité, ni aucune coloration indiquant la présence de sulfure de cuivre, de sorte qu'on peut être convaincu que nulle perte de soufre n'a lieu lorsqu'on dissout la fonte, le fer en barre ou bien le minerai de cette manière.

L'expérience ayant été renouvelée, mais avec ce changement que la solution du chlorate de potasse, pendant l'addition de l'acide hydrochlorique, ne fut point maintenue en ébullition complète, la solution de cuivre se troubla, faisant ainsi ressortir la nécessité de l'ébullition complète.

2° Du fer contenant du soufre traité dans le même appareil avec de l'eau régale (composée de parties égales d'acide nitrique et d'acide hydrochlorique) exigera une chaleur plus égale et une ébullition plus forte, pour que nulle précipitation de cuivre n'ait lieu. D'ailleurs comme la dissolution du fer par le chlorate de potasse se fait plus promptement et que la présence de l'acide nitrique est préjudiciable, tant pour la dissolution de la masse desséchée au bain-marie (puisqu'il s'y forme du sous-nitrate de fer) que pour la précipitation de la solution par le chlorure de baryum, on doit donner la préférence à l'emploi du chlorate de potasse.

3° 1 gramme de pyrite pure a été traité de la manière indiquée, et, le soufre séparé au commencement, se trouva complétement dissous après qu'on eut desséché la liqueur au bain-marie. En précipitant avec du chlorure de baryum, on obtint une quantité de sulfate de baryte correspondant exactement à celle du soufre de la pyrite.

4° Beaucoup d'expériences ont été faites avec les liqueurs filtrées provenant de solutions de fer exempt de soufre et qui après un repos de plusieurs jours avaient été portées à l'ébullition et auxquelles l'on avait ajouté 1 centimètre cube d'une solution aqueuse de sulfate de soude contenant une quantité d'acide sulfurique correspondant à 0gr,0001 de soufre. Au bout de 24 heures au moins, il s'était formé un faible précipité qui prouva que l'acide sulfurique s'était complétement séparé du fer. Ce précipité se montre d'une manière distincte lorsqu'on remue le fond de la fiole en tournant circulairement avec un agitateur en verre; car alors le sulfate de baryte monte dans un petit tourbillon et retombe ensuite sur un seul point. L'on a aussi ajouté 50 centimètres cubes de la solution de sulfate de soude aux liqueurs filtrées et l'on a obtenu le poids exact du sulfate de baryte. S'il se trouvait dans les liqueurs filtrées 10 centimètres cubes d'acide hydrochlorique libre, au lieu

de 5, il se passerait quelquefois deux jours avant que le précipité de la liqueur (contenant 1 centimètre cube de la solution de sulfate de soude), ne fût visible. En conséquence, si l'on a plus de 5 centimètres cubes d'acide hydrochlorique en dissolution on doit ajouter, pour chaque centimètre cube excédant (à la dissolution augmentée avec du chlorure de baryum et ensuite refroidie) 1 centimètre cube d'ammoniaque caustique pesant 0g,95 et par ce moyen l'acide hydrochlorique se trouve à peu près neutralisé. La précipitation se fait plus facilement que lorsqu'il s'agit d'une solution de fer, quand on ajoute à un mélange de 150 centimètres cubes d'eau et 5 centimètres cubes d'acide hydrochlorique, 1 centimètre cube de la solution aqueuse de sulfate de soude, ce qui indique que le minerai de fer rend la précipitation difficile.

5° Dans plusieurs expériences dans lesquelles on lavait longtemps du sulfate de baryte sur un filtre, tant avec de l'eau chaude qu'avec de l'eau froide, il était impossible, par l'évaporation d'une goutte d'eau de lavage sur un verre de montre d'éviter des taches sur ce dernier. Quelques gouttes d'une solution de chlorure de baryum et un peu d'acide hydrochlorique étant ajoutés à la liqueur filtrée, produisirent toujours par l'action de la chaleur un faible précipité blanc. C'est pourquoi le lavage ne doit être continué que jusqu'à ce qu'une goutte d'eau de lavage évaporée, laisse sur le verre un anneau blanc presque imperceptible.

6° 4gr,9 de carbonate de chaux et 0g,1 de pyrite étant soumis à la même méthode de dissolution ont donné par l'évaporation au bain-marie une solution parfaitement claire. Après la dessiccation, 6 centimètres cubes d'acide hydrochlorique et 30 centimètres cubes d'eau furent ajoutés sur le résidu et l'on obtint ainsi une masse considérable de plâtre. Lorsque la solution fut restée une heure au bain-marie, après qu'on eut augmenté la quantité d'eau, le plâtre entra en dissolution complète.

$0^g,1$ de plâtre est dissous dans 2 centimètres cubes d'acide hydrochlorique et 4 à 6 centimètres cubes d'eau (ou bien encore dans 10 centimètres cubes d'acétate d'ammoniaque). On laisse la solution pendant une demi-heure au bain-marie en la remuant vivement. On peut alors l'étendre d'eau à son gré, sans que le plâtre soit précipité.

7° $0^g,5$ de sulfure de plomb (galène) ont été complétement dissous de la même manière et la solution portée à dessiccation au bain-marie. Un peu d'eau fut ajoutée pour enlever le chlorure de potassium et évaporée après dissolution de ce sel; le sulfate de plomb qui restait fut alors complétement dissous dans 20 centimètres cubes d'acétate d'ammoniaque mêlés à la solution conservée et précipité avec de l'acétate de baryte auquel on avait ajouté un peu d'acide acétique libre. Le sulfate de baryte qui avait le poids voulu était de couleur grise, mais devint sans changement de pesanteur plus clair par un chauffage au rouge vif, continué pendant longtemps avec accès d'air.

$0^g,1$ de sulfate de plomb est dissous sans élever la température dans 2 centimètres cubes d'ammoniaque acétique (*); le chlorure de plomb s'y dissout encore plus facilement. La solution peut être étendue d'eau sans que la précipitation ait lieu.

$0^g,1$ de sulfate de plomb est dissous au bain-marie en remuant vivement pendant une demi-heure dans 4 centimètres cubes d'acide hydrochlorique (ayant 1.12 pour poids spécifique) étendus avec 2 centimètres cubes d'eau, mais le sulfate commence à cristalliser lorsque la liqueur est refroidie jusqu'à 60 ou 70 degrés.

8° $4^g,7$ de minerai de fer ayant une richesse en soufre déterminée, étant mêlés à $0^g,1$ de pyrite, $0^g,1$ de sulfure de

(*) Préparé en ajoutant de l'acide acétique concentré à de l'ammoniaque ayant 0,95 pour poids spécifique jusqu'à ce qu'une faible réaction acide se présente.

plomb et 0g,1 de plâtre traités de la même manière que le minerai de fer, ont donné exactement la quantité de sulfate de baryte qu'ils devaient fournir. Le précipité de la solution dans de l'acétate d'ammoniaque ne pesait que quelques milligrammes.

9° Une solution aqueuse de sulfate de soude exactement titrée et ensuite du chlorure de baryum furent ajoutés à une solution de verre soluble acidulée avec de l'acide hydrochlorique. Le poids du sulfate de baryte qui prit naissance montra que l'acide silicique gélatineux se trouvant en dissolution dans l'acide ne causait aucun trouble à ces expériences.

10° 0g,1 de quartz pur fut fondu avec 0g,5 de soude anhydre dans un creuset de platine. La masse fut complétement dissoute, sans chauffage, dans 5 centimètres cubes d'eau, et la liqueur resta claire, même au bain-marie.

11° 0g,1 de sulfate de baryte fut fondu dans un creuset de platine avec 0g,5 de carbonate de soude; la masse traitée avec de l'eau fut versée sur le filtre et lavée. La baryte carbonatée restant sur le filtre fût portée au rouge et dissoute dans de l'acide hydrochlorique étendu sans le moindre résidu. Il en a été de même de la strontiane sulfatée; il s'en suit que ces deux sels peuvent être complétement décomposés par la fusion avec du carbonate de soude.

B. DOSAGE DU SOUFRE AU MOYEN D'UNE LAME D'ARGENT.

0g,1 de fonte, de fer en barre ou d'acier réduits en copeaux ou pulvérisés et passés dans un tamis ayant des trous de 0,6 millimètres au plus, est introduit (au moyen d'un entonnoir de verre ou de papier vernis) dans une fiole d'environ 0m,15 de hauteur sur 3 centimètres de diamètre, dans laquelle l'on a versé d'avance 1 gramme d'eau et 0g,5 d'acide sulfurique concentré ou bien 1g,5 d'acide sulfurique ayant un poids spécifique de 1,25 et dont le

volume (1,5 centimètres cubes) a été marqué sur la fiole.

Un morceau de lame d'argent bruni (long de 18 millimètres, large de 7 millimètres et demi et d'une épaisseur de 1 millimètre au moins avec un trou au bout) composé de 75 parties d'argent et de 25 parties de cuivre (proportions des riksdalers suédois) et attaché à un fil mince de métal, préférablement d'argent ou de platine, est promptement introduit dans la fiole, de façon que la lame se trouve un peu au-dessous du col; on met un bouchon qui tient le fil sans boucher complétement. On laisse la fiole 15 minutes à la température ordinaire et l'on enlève ensuite la lame.

Si le fer contient du soufre la lame est colorée par le gaz hydrogène sulfuré qui s'est dégagé pendant la dissolution du fer dans l'acide sulfurique étendu. Toutefois, suivant les différentes quantités de soufre (*), la coloration de la lame passe au jaune de cuivre, au brun de bronze, au brun bleuâtre ou au bleu. Ces colorations sont déterminées avec plus d'exactitude en nommant celle de la lame d'argent, 1; celle du jaune de cuivre, 2; celle du brun de bronze, 3; celle du bleu, 4, et en indiquant les degrés intermédiaires par des fractions décimales; par exemple, 2, 5 si la coloration se trouve entre 2 et 3; 3, 1, si la lame est bleue jusqu'à 1 dixième; 3, 5, si elle est autant bleue que brune; 3, 9, si la coloration brune est faible.

Comme coloration normale pour 2 nous avons adopté celle du bronze dit métal jaune, fraîchement frotté avec du sable fin sur un cuir (ce métal est composé de 60 parties de cuivre et de 40 d'étain). Pour la coloration 3, il ne nous a pas été possible de trouver un alliage convenable. Du bronze composé de 85 parties de cuivre et de 15 parties de zinc ne donne pas tout à fait la coloration qu'il faut ob-

(*) Le sélénium si rare et si voisin du soufre communique également, étant fondu avec du fer, une coloration bleuâtre aux lames d'argent. L'arsenic, l'antimoine et le phosphore dans le fer n'exercent aucune action dans ces expériences.

tenir; car fraîchement frotté il est trop clair et finit par prendre une coloration bleuâtre. Pour la coloration en question le mieux est d'employer une lame d'argent qui reste dans la fiole pendant la dissolution du fer, jusqu'à ce qu'elle soit devenue aussi brune que possible et qu'une légère coloration brun-bleuâtre se fasse apercevoir; cette lame est ensuite enlevée et conservée dans un petit tube de verre bien bouché. La coloration nº 4 ressemble à celle d'un ressort de montre. Si la teneur en soufre est très-considérable, cette coloration passe au gris bleu clair.—En passant la lame d'argent sur une fiole remplie de sulhydrate d'ammoniaque, l'on peut d'ailleurs arriver facilement au numéro qu'on désire.

Pour obtenir dans les essais pour le soufre les teintes justes sur la lame d'argent, il est nécessaire de prendre certaines mesures de précaution.

On nettoie la lame le mieux possible, en la tenant avec une pincette et en la frottant sur un cuir doux, sur lequel on a versé de la poudre de grès très-fine. Au moyen d'un peu de papier, on cherche à éviter le contact des doigts et on fait sécher la lame avec soin dans un papier à filtrer.—Si la lame, par le blanchiment ou par l'action du brunissage, s'est purifiée à la surface, on doit soigneusement enlever celle-ci en repassant sur le cuir, car l'argent pur est moins sensible à l'effet du gaz que celui qui présente le titre indiqué. Aussi a-t-on quelquefois constaté que l'argent employé pour la monnaie fournit des lames moins homogènes et dont les parties plus riches en cuivre prennent plus promptement une coloration bleuâtre. C'est pourquoi on doit comparer les lames les unes aux autres en les introduisant au moyen d'un bout de fil dans une fiole dans laquelle l'on a dissous du fer contenant de 0,05 jusqu'à 0,08 p. 100 de soufre.—En introduisant la lame, il faut d'ailleurs avoir soin de tourner non pas un côté, mais un bord contre le courant du gaz le plus fort qui suit les parois de la fiole à côté du fil métallique et qui co-

lorerait plus fortement une des faces de la lame que l'autre.— La lame doit être promptement introduite dans la fiole après l'introduction du fer, vu qu'un très-fort dégagement d'hydrogène sulfuré a lieu immédiatement.—Après une première expérience on remplit la fiole plusieurs fois avec de l'eau afin que l'odeur d'hydrogène sulfuré disparaisse. — Si l'on emploie un mortier d'acier pour pulvériser la fonte, l'on doit réduire toute la masse du morceau sur lequel on opère en poudre très-fine. On doit bien nettoyer le mortier à chaque fois en ayant soin d'enlever le disque du fond. — Bref, le tamis, les limes, le cuir, doivent être tenus très-propres (*).

Les changements dans la température entre 15° et 25° ne semblent avoir aucune influence sensible sur la coloration du métal; si la température dépasse 40 degrés la lame devient humide et donne des colorations fausses. — Plusieurs expériences ont été faites sur la partie blanche et sur la partie grise de la même fonte; mais, ces expériences faites séparément, ont fourni les mêmes résultats, quoique le métal se soit dissous en quantités inégales. Si quelque différence a eu lieu, ce serait que la fonte blanche plus difficile à dissoudre, colore la lame un peu plus faiblement.

Il est certain qu'il faut quelque pratique pour juger la coloration de la lame, mais, on peut l'acquérir facilement; en général, le mieux est de placer sur un papier blanc, à côté de la lame servant à l'expérience, d'autres lames ayant les teintes 1, 2, 3, en les exposant à une bonne lumière près de la fenêtre (mais pas au soleil), et de les examiner avec une loupe. Les colorations entre 3 et 4 sont les plus difficiles à reconnaître; cependant les personnes un peu exercées ne diffèrent pas facilement de plus de 0,1 de sorte que, par exemple, la coloration peut être évaluée entre 3, 5, et 3, 6.

Voici du reste quel est à peu près le rapport qui existe

(*) Si le cuir n'est pas assez propre, il est bon de repasser la lame d'argent sur un papier à filtre qu'on place au-dessus du cuir avec une petite quantité de grès.

entre les différentes colorations sur la lame d'argent et le soufre déterminé par la méthode A, dans un grand nombre de fers différents.

Numéro de la coloration.		Quantité de soufre p. 100.
1.0.		0.00
1.2.		0.01
2.0.		0.02
2.5.		0.03
3.0.		0.04
3.1.		0.05
3.2.		0.06
3.3.		0.07
3.5.		0.08
3.6.		0.09
3.7.		0.10
3.8.	au moins.	0.12
3.9.	au moins.	0.15
4.0.	au moins.	0.20

Il est évident qu'on ne peut pas de cette façon déterminer très-exactement la proportion du soufre, mais une expérience de plusieurs années a démontré que si les expériences sont faites avec soin, et que la dose du soufre ne dépasse pas 0,1 p. 100, on peut arriver à une exactitude suffisante pour la pratique.

Le fer qui ne colore pas l'argent laminé peut quelquefois produire une coloration si l'on double les quantités de fer et d'acide. Avec la moitié des quantités d'acide et de fer sulfureux, l'argent donne, le plus souvent, un peu plus que la moitié de la dose réelle du soufre dans le fer. La sensibilité de l'argent laminé peut être augmentée en le trempant dans une solution de carbonate d'ammoniaque, mais la coloration devient bien inégale.

Parmi les expériences que nous avons faites sur le dosage du soufre dans le fer, nous mentionnerons spécialement les suivantes :

1° La dose du soufre dans le fer de forge est souvent si

minime qu'elle ne produit aucune coloration sur l'argent laminé; on est alors certain que ce fer n'est pas rouverin, en sorte qu'il peut être employé à toutes sortes d'usages. Cependant il ne faut pas oublier que la dose de soufre n'est pas également distribuée dans une barre de fer, mais qu'elle peut y varier considérablement dans plusieurs endroits. En expérimentant avec de la limaille provenant d'une partie d'une barre de fer qui est visiblement rouverin, on obtient souvent une teinte plus forte sur la lame d'argent qu'en se servant des autres parties de la barre. De la limaille obtenue en trouant un fer rouverin, façonné en fer à cheval, ne donne souvent à la lame d'argent aucune coloration plus forte que 2, et il semble en résulter que le fer de forge ordinaire, qui contient 0,02 p. 100 de soufre dans certains endroits ne peut être convenablement employé à cet usage. Si le fer rouverin donne à la lame une coloration plus légère et plus faible que 2, on peut supposer que la cassure provient moins du soufre que des fissures ou des cassures brutes résultant d'un affinage insuffisant. Du reste, les bouts bruts de fer de forge tout à fait exempts de soufre se comportent souvent comme s'ils étaient rouverins. En général, il semble certain que la dose de soufre dans le fer est plus nuisible lorsque le fer a été mal affiné. Dans un fer dur, fondu dans un creuset d'acier, (ressemblant au fer dit fer à faux), on pouvait, malgré environ 0,04 p. 100 de soufre, faire des trous comme dans un fer à cheval sans la moindre trace de crevasse, ce qui sans doute doit être attribué à l'homogénéité et au bon travail de ce fer. La dose du phosphore n'était que de 0,03 p. 100. La partie inférieure d'un rail anglais laminé et sans défaut contenait 0,11 p. 100 de soufre et 0,3 p. 100 de phosphore; on en coupa un morceau qui était tellement rouverin qu'on ne pouvait pas l'utiliser.

Les effets du soufre et du phosphore dans le fer peuvent-ils se neutraliser, et, s'il en est ainsi à quel degré ? Ceci

est une question ancienne dont on s'est occupé dernièrement et qui mérite un examen sérieux, examen qui devient d'autant plus facile que l'on a des méthodes plus simples pour dosager le soufre et le phosphore dans le fer.

2° La richesse en soufre dans l'acier de la meilleure qualité était, d'après les expériences faites jusqu'ici, telles que les colorations sur la lame d'argent variaient seulement entre 1 et 1.5. — De même que dans le fer de forge, la dose du soufre varie souvent dans les différentes parties du même morceau d'acier, et cela paraît être aussi le cas, mais d'une manière un peu moins prononcée dans l'acier fondu.

3° La dose du soufre dans la fonte est rarement si peu considérable qu'elle ne colore pas la lame. Dans la plus grande partie des fontes suédoises, cette dose est telle que les colorations indiquées par la lame d'argent sont comprises entre 2 et 3. Dans la fonte à canon entre 3.3 et 3.7 et quelquefois davantage.

Dans la fonte, la dose de soufre est souvent distribuée d'une manière inégale. En général elle est un peu plus considérable à la surface de la gueuse qu'au fond. Si la coloration de la lame d'argent ne dépasse pas 3, on peut d'après de nombreuses expériences supposer que la fonte affinée par les méthodes ordinaires, ne donnera aucun fer rouverin surtout si l'affinage est fait avec soin. Mais comme par les méthodes d'affinage, différentes quantités de soufre peuvent être enlevées du fer (*) et en général plus, si la fonte provient d'une charge légère sur le haut fourneau, on ne peut pas dire d'avance que toute fonte qui communique à la lame une coloration bleuâtre doive nécessairement donner du fer rouverin. Toutefois, il en doit être ainsi pour la fonte qui colore la lame en bleu, comme un ressort de montre. Dans de la fonte qui donne

(*) Par le procédé Bessemer on ne peut enlever que peu de soufre à la fonte.

du fer de forge rouverin sans rendre l'argent laminé plus que brun, on a été disposé, la fonte ayant été bien affinée, à rejeter la cause sur d'autres substances que le soufre, mais ce fait est très-rare.

Plusieurs circonstances semblent démontrer que la dose du soufre dans le fer diminue avec le temps, du moins à la surface et sous certaines influences favorables.

2. *Minerais de fer.*

La dose du soufre dans le minerai ne se laisse point apprécier d'après la manière qui vient d'être décrite ; on arrive à connaître seulement la dose du soufre dans la fonte, qui, par réduction du minerai dans le creuset, est obtenue, comme nous l'avons décrit dans *Jernkontorets Annalen* 1851, pages 56 et suivantes.

Il faut toujours faire attention à ce qui suit :

(A). Que la poudre de charbon qui remplit le creuset, soit exempte de soufre. On s'en assure d'ailleurs en fondant du fer autant que possible exempt de soufre dans un creuset rempli de cette même poudre de charbon et en examinant ensuite le régule obtenu. Si ce dernier donne une dose de soufre plus élevée que celle que le fer avait avant, la cause en doit être attribuée à la poudre de charbon.—A Falun, les charbons reçoivent depuis peu de temps, beaucoup de soufre de la fumée des tas de grillage, en sorte qu'on est obligé de garder la poudre de charbon destinée aux expériences de l'École des mines dans des fioles fermées. Si les charbons employés comme combustibles dans le four à creuset sont exposés à l'action de beaucoup d'hydrogène sulfuré ou d'acide sulureux les expériences s'en ressentiront.

(B). L'état du minerai comme non grillé, mal grillé et bien grillé.

Les expériences faites dans le laboratoire, et ayant pour but d'apprécier la dose de soufre qui doit être éloignée d'un

minerai par le grillage en grand, sont toujours peu exactes.

(C). L'influence exercée sur la dose de soufre par la nature du mélange des minerais.

Il résulte de nombreuses expériences faites à l'école des mines de Falun que plus le laitier contient d'acide silicique plus la fonte reçoit de soufre et que la dose de soufre diminue peu à peu au fur et à mesure que l'addition de la chaux augmente (*). Nous citerons comme exemple la nature du régule après un minerai qui étant réduit :

Avec 15 pour 100 de quartz donna. . 0.09 pour 100
Avec 5 pour 100 de chaux donna. . 0.04 pour 100
Avec 20 pour 100 de chaux donna. . un peu plus de 0,01 p. 100 de soufre.

Le premier laitier était d'une nature d'émail, le second vitreux, la troisième cireux. — En général, on fait maintenant des essais pour le soufre avec des régules qui sont obtenus d'un mélange renfermant le moins de chaux possible, mais donnant des laitiers vitreux. Si la coloration de la lame d'argent ne dépasse pas le n° 3, la dose du soufre peut être regardée comme insignifiante surtout en expérimentant sur du minerai non grillé.

La chaux, comme castine de hauts-fourneaux, peut-être essayée pour soufre de la manière suivante :

On mêle $0^g,80$ de battiture ou de minerai de fer d'une qualité riche et pure à $0^g,20$ de quartz et à $0^g,20$ de chaux; on fait fondre le mélange comme à l'ordinaire dans le creuset et l'on essaye pour soufre la fonte qui est obtenue. De cette façon on apprend si la chaux contient une dose de soufre nuisible. Si la chaux était chimiquement pure, on obtiendrait par l'addition de 2 à 3 p. 100 d'argile ou de talc exempts d'acide sulfurique, un meilleur laitier. Si au

(*) Ici, il faut cependant faire observer que par l'affinage on peut enlever de la fonte, d'autant plus de soufre qu'il contient de silice.

contraire la chaux contient beaucoup d'acide silicique on doit en ajouter plus de 0gr,2 pour l'expérience.

Les essais du soufre au moyen de l'argent laminé exigent outre la balance les objets suivants (*).

1° Un mortier d'acier décrit dans *Jernkontorets Annalen* (année 1851, p. 60).

2° Une lime triangulaire, préférablement avec treize entailles par centimètre.

3° Un tamis de fer blanc étamé.

4° De la poudre de grès qu'on ferait bien de conserver dans une boîte de bois de même grandeur que le tamis.

5° Un cuir à repasser.

6° Une fiole pour la dissolution du fer.

7° Une fiole bien bouchée pour mettre de l'acide sulfurique à 1,23 de pesanteur spécifique.

8° Deux lames d'argent, une lame de métal jaune et une d'argent pour la coloration bronze.

9° Un mince fil d'argent, pur, long de 7 pouces environ.

10° Une pincette pour tenir la lame d'argent lorsqu'on la nettoie.

Relativement au dosage du carbone dans le fer et dans l'acier par la méthode d'Eggertz, voir : *Bulletin de la société chimique* 1864 (1er volume).

(*) S'adresser à M. Sœderberg, à l'École des mines de Falun, Suède.

NOTE

SUR L'EMPLOI DU SEL DANS L'AGRICULTURE.

Par M. JULES ICHON, ingénieur des mines.

Tout le monde sait que le sel est indispensable à l'organisme des animaux ; on connaît son mode d'action dans l'acte de la digestion qui ne peut s'accomplir régulièrement que sous son influence ; de même que les autres éléments qui se détruisent en remplissant leurs fonctions dans l'acte de la vie, le sel a besoin d'être constamment renouvelé ; il faut donc que les animaux trouvent à côté de leur nourriture cette quantité de sel nécessaire à leur existence. Les animaux sauvages le rencontrent, grâce à leur instinct, dans les sources ou les plantes salées ; quant aux animaux domestiques, qui sont constamment renfermés ou attachés, ils mangent la nourriture qu'on leur présente, qu'elle renferme ou non la proportion de sel requise, et il est hors de doute qu'un grand nombre des maladies de ces animaux proviennent d'un manque de sel. Le bétail mange sans inconvénient mélangées à du sel, des plantes, qui seules lui seraient très-nuisibles. On peut rappeler à ce sujet une observation intéressante, faite par le docteur Livingstone dans ses voyages en Afrique ; la chair des antilopes vivant à l'intérieur du continent est toujours extrêmement dure, tandis que les antilopes qui se nourrissent des plantes venues au bord de la mer, ont la chair très-tendre.

Il n'y a guère besoin d'insister sur l'importance de cet emploi du sel ; cependant les agriculteurs n'en sont pas partout également convaincus, et l'Allemagne, par exemple, consomme une quantité beaucoup plus forte de sel pour les bestiaux, que les autres pays. Il n'y a presque pas de propriété bien administrée en Allemagne, où l'on ne mette à la

portée du bétail des blocs de sel à lécher, qui constituent l'objet d'uue fabrication particulière; on mêle au sel de l'oxyde de fer ou d'autres matières colorantes, afin de le rendre impropre aux usages domestiques. Aux mines de Stassfurt seulement, on a vendu en 1864, 13.247 tonnes environ de sel pour bestiaux, au prix de 62[cent.],1 la tonne; le prix de revient étant de 44[cent.],55. De nombreuses expériences faites en France, en Allemagne et en Angleterre sur les bœufs, les vaches, les chevaux, les moutons, etc., ont d'ailleurs surabondamment démontré les avantages de l'emploi du sel dans l'alimentation de ces animaux; ainsi les expériences de M. Boussingault sur des bœufs, celles de M. Lehmann (Saxe) sur des chevaux, etc.

Mais outre ce premier mode d'emploi du sel, l'agriculture en pratique un second, sur les avantages duquel les opinions sont beaucoup plus partagées, soit parce qu'on n'a pas d'expériences aussi concluantes, soit parce qu'on ne s'explique pas aussi facilement les actions du sel. L'emploi du sel comme engrais est, en effet, une question encore très-controversée; je vais tâcher de résumer dans cette note ce que l'on savait et ce que l'on a appris à cet égard dans ces dernières années.

L'avidité avec laquelle le sel absorbe et retient l'eau de l'atmosphère est une propriété connue de tout le monde; elle a pour effet qu'en temps sec, un sol renfermant du sel conserve plus d'humidité qu'un autre; on sait également que le sel combat dans les herbes acides, la saveur désagréable au bétail, qu'il peut détruire les mauvaises herbes, etc. Mais ce qui est moins connu, ce sont les effets du sel, employé comme engrais.

La plupart des engrais artificiels usités aujourd'hui sont destinés à fournir au sol les éléments nécessaires à la nutrition normale des végétaux; ainsi la marne doit fournir la chaux, les phosphates, l'acide phosphorique, etc. On ne peut guère chercher l'explication de l'utilité du sel marin

dans une action de cette sorte; les proportions de soude que les végétaux renferment sont généralement faibles et les quantités de cette base que contiennent les terres végétales suffisent largement aux besoins de la plupart d'entre eux. D'autre part, si le chlore est essentiel au développement de certains végétaux, comme du sarrasin, par exemple, dont la fructification ne peut avoir lieu sans la présence de ce corps, il devient toujours nuisible lorsqu'il existe en fortes proportions dans le sol. En général le sel ne peut donc pas exercer directement une action bienfaisante sur la végétation par l'un ou l'autre de ces éléments. Du reste, la terre végétale, qui, comme on le sait, absorbe et retient très-énergiquement les élements minéraux nécessaires aux plantes, possède un pouvoir absorbant très-faible pour le chlorure de sodium, qui est rapidement entraîné par l'eau de pluie.

Le rôle important du sel se trouve dans son action indirecte sur les principaux agents de la vie végétale dans le sol; il leur fait subir en quelque sorte un travail digestif préparatoire, les rendant plus facilement assimilables par les plantes. On sait en effet que le sel rend solubles les combinaisons ammoniacales, les phosphates et les silicates de potasse et de magnésie et autres qui préexistent dans le sol ou qui y sont introduits par les engrais.

D'après le docteur Eichhorn, des poids égaux d'eau distillée, et d'eau renfermant 1 pour 100 de sel dissolvaient dans une même quantité d'une certaine terre végétale, des quantités de matières dont les poids sont exprimés par

1.345 et 2.475.

On comprend très-bien que, par suite de cette propriété dissolvante, le sel puisse rendre assimilables plus rapidement des matières qui sans lui séjourneraient un temps assez long dans le sol, avant de le devenir.

Cette même propriété dissolvante a pour conséquence

une autre action du sel, une sorte de transport mécanique, action plus importante encore que la première. Elle a été mise en évidence d'une manière très-nette par les expériences intéressantes du docteur Franck, qui a été amené à ces expériences pour reconnaître la cause de la fatigue du sol pour les betteraves, fatigue qui subsistait même après avoir restitué au sol par les engrais les matières enlevées par les récoltes. La couche supérieure de la terre végétale renfermant ainsi en abondance tous les éléments minéraux nécessaires à la végétation, ce n'est pas en elle qu'il fallait chercher la cause de l'infertilité, mais bien dans le sous-sol, que la betterave, plante à racines très-profondes, avait épuisé au bout d'un certain nombre d'années.

La betterave normale a une racine pivotante avec des radicelles latérales peu développées; sur un sol fatigué de betteraves, au contraire, elle s'arrondit, la racine principale a moins d'importance, les racines latérales se développent davantage et toute la constitution de la plante montre qu'elle cherche sa nourriture dans la couche supérieure du sol. En examinant parallèlement des sols propres à la culture de la betterave et des sols fatigués par cette culture, on a reconnu qu'en effet, tandis que les couches supérieures pouvaient présenter dans les deux la même constitution, le sous-sol était toujours épuisé dans les seconds.

L'épanchement des engrais à la surface ne peut pas rendre à ce sous-sol les éléments qui lui manquent, puisque la couche supérieure absorbe toujours et retient tout ce qu'on lui donne, même dans les engrais les plus abondants.

Il en est pour les pois, pour le trèfle, en un mot pour toutes les plantes à racines profondes, de même que pour les betteraves, et comme on n'a guère jusqu'ici de moyens mécaniques pour travailler suffisamment le sous-sol, on a cherché à lui rendre sa fertilité par des actions chimiques.

Les expériences de M. Franck se fondent sur la propriété

dissolvante du sel marin. Il remplit un cylindre en fer-blanc de 1 à 2 mètres de longueur et de 3 pouces de diamètre, muni de robinets, comme le montre la figure, des couches successives d'un sol de culture, dans leur ordre naturel de superposition (Pl. XI, *fig.* 1).

Des échantillons provenant des diverses couches sont soumis à l'analyse; on détermine la quantité d'eau qu'elles retiennent, ainsi que leurs autres propriétés caractéristiques.

On fait ensuite passer de l'eau distillée dans le cylindre en ouvrant le robinet inférieur, jusqu'à ce que le liquide qui s'écoule ne précipite plus sensiblement ni par du chlorure de baryum ni par de l'azotate d'argent, en un mot jusqu'à ce que les sels solubles aient été enlevés aussi complétement qu'ils peuvent l'être; on laisse égoutter l'eau renfermée dans la terre, puis on renverse au-dessus du cylindre une fiole renfermant une dissolution de chlorure de potassium (1 gramme par litre), qui s'écoule lentement; on en fait passer ainsi 4 litres, qui correspondent à peu près à la quantité de pluie tombant sur une surface de 3 pouces de diamètre dans le cours d'une année.

Voici maintenant ce que l'on a reconnu par ces expériences: en recueillant la liqueur s'écoulant du robinet situé à 12 pouces du haut (les autres étant fermés), lorsque cette liqueur montrait la même teneur en chlore que la dissolution primitive, elle ne renfermait plus que les 0,09 du potassium de la liqueur primitive; au troisième robinet (à 18 pouces du haut) il ne restait que 0,045 du potassium; plus bas la teneur ne diminuait plus sensiblement; et même à 6 pieds il y avait encore 2 à 2,5 p. 100 du potassium, ce qui semble indiquer que lorsque la dissolution a atteint un certain degré de dilution, la force absorbante de la terre est moindre que l'affinité qui retient le potassium combiné au chlore et dissous dans l'eau à l'état de chlorure.

En somme, on voit que la potasse a été presque complétement absorbée par la couche supérieure du sol d'une

épaisseur de 18 à 24 pouces. Le sulfate de potasse dans les mêmes conditions pénètre à une profondeur moins grande encore.

En employant un sel de potasse renfermant 2,5 p. 100 de chlorure de sodium, on voit que la potasse pénétrait plus loin et même à 18 pouces il y en avait encore 14 p. 100 dans la liqueur; cela conduisit à recommencer l'expérience avec une dissolution formée de :

1.000 parties d'eau;
1 partie de sel de potasse;
1 partie de sel marin.

En opérant comme précédemment, on reconnut dans ce cas que la potasse descendait beaucoup plus loin; ainsi, tandis que dans le premier cas, il n'y avait plus à 18 pouces que 5 p. 100 de potassium dans la liqueur écoulée, cette fois il s'en trouvait encore 18 p. 100; à 4 pieds de profondeur il en restait encore 5 p. 100.

Le chlorure de sodium a donc pour effet de faire descendre davantage la potasse.

Pour montrer d'une autre manière cette action, on commença par saturer un sol de sels de potasse; on lava ensuite à l'eau pure, jusqu'à ce que cette eau ne dissolût plus de potasse; en lavant ensuite avec une dissolution de sel marin, le liquide écoulé renfermait de nouveau une forte proportion de potasse.

Des expériences analogues, quoique moins complètes, furent faites par M. Franck sur l'acide phosphorique. Il mélangea la couche supérieure de terre, sur 3 pouces d'épaisseur environ, avec du phosphate de chaux basique, obtenu par précipitation; l'eau pure passant dans le cylindre ne contenait, à sa sortie à 12 pouces, que des traces d'acide phosphorique; une dissolution de sel marin (1 pour 1.000) montrait des quantités notables de cet acide, même à une profondeur de 4 pieds.

Ce qui précède démontre parfaitement l'action de transport indiquée plus haut, et il est évident que cette action, qui appartient d'ailleurs à quelques autres substances, au gypse et au sulfate de magnésie par exemple, comme au sel, est d'une grande importance pour la culture des plantes à racines profondes.

Tels sont les principaux effets du sel marin connus aujourd'hui ; on lui attribue fréquemment encore d'autres propriétés, mais il est permis de conserver des doutes à cet égard. Ainsi l'on dit que le sel préserve le blé de la rouille, qu'il l'empêche de verser, qu'il détruit les vers, qu'il empêche la maladie des pommes de terre, etc. M. Zoller, faisant remarquer que le coton vient toujours dans des terrains à forte salure, pense qu'on devrait essayer les effets du sel sur le lin et le chanvre : il faut observer cependant que la production de la fibre textile ne se fait pas du tout dans ces dernières plantes comme dans le coton.

A l'appui de ce qui vient d'être dit sur l'action avantageuse du sel, on peut citer maintenant un certain nombre d'essais dans lesquels elle devient évidente, par suite d'essais parallèles dans lesquels le sel n'a pas été employé.

Blé.

Essais de la Société royale d'agriculture de Bavière à Weyenstephan, en 1858, dans un champ très-épuisé :

1° 250 livres de nitrate de soude et 75 livres de sel ont donné :

2.526 livres de paille,
1.390 livres de graine.

250 livres de nitrate sans sel ont donné :

2.406 livres de paille,
1.132 livres de graines.

2° 300 livres de nitrate de potasse et 75 livres de sel ont donné :

2.710 livres de paille,
1.413 livres de graines.

300 livres de nitrate sans sel ont donné :

2.680 livres de paille,
1.368 livres de graines.

Le terrain sans engrais a donné :

1.884 livres de paille,
1.034 livres de graines.

Essais du docteur Wolff en Saxe sur un sol argilo-sableux de qualité moyenne :

		graines. kilog.	paille. kilog.
Sans engrais	. . . .	2.430	6.091
	Par hectare		
avec	288 kilog. de sel.	2.746	6.207
avec	1.152 *Idem.*	2.614	4.766

On voit que dans ce dernier exemple une quantité très-forte de sel a donné un résultat moindre que la quantité plus faible; cela s'explique si l'on remarque que la première quantité a pu contribuer à mettre plus de matières assimilables à la portée des racines; la deuxième, trop forte au contraire, a entraîné une certaine quantité de matières utiles dans les couches plus profondes où elles ne sont plus à la portée des racines du blé.

Seigle.

Essais de la Société royale de Bavière.

Seigle d'hiver; semé en octobre 1858, moissonné en août 1859 :

Sans engrais.		242	livres de graines.
Avec	1.100 livres de superphosphate	720	—
Avec	1.100 *Id.* et 250 livres de sel	1.007	—

Essais de M. Henneberg à Wende :

75 livres de nitrate de soude ont donné :
676 livres de grains;
2.172 livres de paille;

56 livres de nitrate de soude et 56 livres de sel ont donné :

814 livres de grains;
2.364 livres de paille.

Essais du docteur Wolff :

Sans engrais.	1.631 kilog. de graines; 3.932 kilog. de paille.
Par hectare.	288 kilog. de sel ont donné: 1.802 kilog. de graines; 3.787 kilog. de paille.
	1.152 kilog. de sel ont donné : 2.161 kilog. de graines; 4.173 kilog. de paille.

Orge.

Essais de la Société royale de Bavière.

Sol argileux, fumé six ans auparavant; la dernière culture était de l'avoine :

	Graines.	Paille.
250 livres de carbonate d'ammoniaque. . .	236	572
150 livres de sel et 250 livres de carbonate d'ammoniaque. . .	543	1.008
175 livres de nitrate. .	316	624
150 livres de sel et 175 livres de nitrate. .	607	1.399
275 livres de phosphate.	272	669
150 livres de sel et 275 livres de phosphate.	238	927

Essais de la Société d'agriculture de Kœnigsberg :

Sans engrais.	2 600 livres de graines, 3.080 livres de paille.
Avec 300 livres de sel. . . .	3.024 livres de graines, 3.760 livres de paille.

Essais du docteur Wolff.

Sol argilo sableux de qualité moyenne :

	Par hectare.
Sans engrais.	4.174 kilog. de graines, 6.200 kilog. de paille.
288 kilog. de sel.	4.892 kilog. de graines, 6.660 kilog. de paille.
1.152 kilog. de sel.	6.803 kilog. de graines, 10.098 kilog. de paille.
6.728 kilog. de sel.	6.901 kilog. de graines, 9.990 kilog. de paille.

Avoine.

Essais de la Société royale de Bavière :

Engrais.	Produit ; graine et paille.
Point d'engrais.	1.090 livres.
Carbonate d'ammoniaque.	1.310 —
Carbonate et sel.	2.060 —
Nitrate d'ammoniaque	1.310 —
Nitrate d'ammoniaque et sel.	2.530 —
Phosphate d'ammoniaque.	2.470 —
Phosphate d'ammoniaque et sel. . . .	2.900 —
Sulfate d'ammoniaque.	2.370 —
Sulfate d'ammoniaque et sel.	2.830 —

Essais du docteur Wolff :

	Par hectare.
Sans engrais.	8.694 kilog. de graines et paille.
288 kilog. de sel. . . .	10.800 kilog. de graines et paille.
576 kilog. de sel. . . .	11.322 kilog. de graines et paille.
1.152 kilog. de sel. . . .	15.120 kilog. de graines et paille.

Pommes de terre.

Essais de John Dove à Eccles :

		Récolte. kilog.
Par acre anglais.	Sans engrais	6.800
	200 kilog. de guano	10.300
	100 kilog. de sel et 200 kil. de guano	13.000
	200 kilog. de sulfate d'ammoniaque et 200 kil. de guano	11.450
	Les mêmes et 100 de sel	13.650

Betteraves.

Essais du docteur Herth :

		Récolte. kilog.
Par acre anglais.	Sans engrais	6.400
	Avec 100 kilog. de sel	8.000
	Avec 200 kilog. de sel	8.750

Prairies naturelles ou artificielles.

Essais de M. Kuhlmann à Lille :

		1re coupe.	2e coupe.	Total.
Par hectare.	Sans engrais	5.608	2.136	7.744
	Avec 200 kilog. de sel	7.557	2.117	9.674

On voit ici que l'action du sel ne s'est exercée que sur la première coupe parce qu'il était probablement complétement entraîné par les eaux pluviales, après cette première coupe.

Trèfle.

Essais du docteur Wolff :

		kilog.
Par hectare.	Sans engrais	17.928
	Avec 1.152 kilog. de sel	23.490
	Avec 1.728 —	24.192
	Avec 3.304 —	36.450

Le trèfle étant une des plantes à racines profondes, on s'explique bien l'énergie de l'action dans ce dernier cas.

Les résultats obtenus par ces divers essais sont très-satisfaisants ; il n'en faudrait cependant pas conclure que le sel est

un engrais applicable à tous les sols et à toutes les cultures.

D'après sa manière d'agir, il est évident que si l'on emploie le sel marin sur un sol gras, riche en éléments nutritifs fixés, il aura une action favorable en rendant solubles ces éléments et en les distribuant, d'autant plus qu'on cultive généralement sur ces sols des plantes à racines profondes; mais si l'on emploie le sel, surtout seul, sur une terre pauvre, sableuse et par suite peu absorbante, il pourra entraîner en profondeur une partie des éléments nécessaires dans la couche supérieure du sol, où déjà l'on ne peut cultiver que des plantes à racines courtes.

D'une manière générale on peut considérer comme avantageux de mélanger les engrais d'une certaine proportion de sel; cette proportion doit naturellement varier, et il appartient à chacun de déterminer celle qui convient le mieux à son engrais, à son terrain ou à sa culture.

Il ne faut jamais appliquer le sel avec la semence, car l'action corrosive du sel peut détruire le germe. On ne doit pas non plus appliquer le sel (surtout seul) dans des terrains pauvres ou dans des terrains très-gras non drainés. Nous avons vu quels inconvénients entraîne son emploi dans les premiers; dans les seconds il ne peut pas passer assez rapidement, si par exemple le temps est très-sec, et alors il nuit aux plantes par son contact direct.

Pour ce qui concerne l'époque de l'application du sel, le mieux paraît être un mois avant la semence pour la plupart des cultures; dans les terrains très-fertiles on peut même l'appliquer avec avantage en automne pour les cultures du printemps. Dans les terrains plus pauvres, il vaut mieux ne pas laisser un temps aussi long entre l'application du sel et le commencement de la végétation, parce qu'on tomberait dans l'inconvénient signalé plus haut; cependant ce temps ne doit pas être trop court, afin que le sel ait pu être entraîné à une certaine profondeur par les eaux pluviales, et qu'il ne vienne pas au contact des graines.

NOTE

SUR LES CHANGEMENTS DE VOLUME EN SENS INVERSE DES DEUX GLACIERS DE GORNER ET DE FINDELEN, PRÈS DE ZERMATT EN VALAIS.

Par M. E. DE BILLY.

L'étude des glaciers a pris une place notable dans la géologie moderne; elle emprunte son intérêt à l'importance même du sujet, et à cette considération qu'un glacier, loin d'être une masse inerte, est doué d'une vie propre, qu'animé d'un mouvement continu, il subit d'incessantes transformations.

Tous les détails de ce mouvement, de ces transformations ont été soumis à l'étude; de nombreux et hardis observateurs, parmi lesquels on compte d'illustres savants, ont trouvé les explications de ces phénomènes; ils en ont formé un faisceau qui est devenu une théorie offrant tous les caractères de la vérité, et récemment encore, un physicien anglais, M. James Thomson, faisant une heureuse application de la théorie mécanique de la chaleur, a su expliquer l'abaissement du point de congélation et le phénomène du regel dans ces masses constamment soumises à d'énormes pressions.

Mais nous ne nous étendrons pas davantage sur ces considérations générales, nous renvoyons aux traités spéciaux, et notamment à une nouvelle publication où l'état actuel de la science des glaciers se trouve fort bien résumé par M. Charles Martins, à qui cette science est depuis longtemps redevable de nombreux progrès (*).

(*) Charles Martins. *Glaciers et période glacière.* Paris, 1867.

Chaque glacier a son histoire individuelle dont les faits principaux se lisent sur les parois des rochers avec lesquels il s'est trouvé en contact, et dans les moraines déposées par lui à des époques plus ou moins reculées. Il a eu ses temps fabuleux ; il a ses siècles d'histoire ancienne et d'histoire moderne ; il a contracté des alliances avec des voisins dont la puissance a varié comme la sienne ; il a été envahisseur pour rentrer ensuite dans des limites moins étendues, laissant toujours après lui la dévastation et la stérilité.

Tout le monde sait aujourd'hui que, soumis à un mouvement continu dans le sens de la pente des terrains qu'ils recouvrent, les glaciers subissent en même temps des variations de volume, que ces modifications portent tantôt sur leur épaisseur, tantôt sur leur longueur, et tantôt à la fois sur l'une et sur l'autre de ces dimensions.

M. Clémenz, membre du conseil des états de la confédération helvétique, qui, depuis 1851, passe tous les étés à Zermatt, d'accord avec d'autres observateurs, affirme que la diminution dans l'épaisseur d'un glacier, ce qu'on nomme *l'ablation*, précède toujours l'amoindrissement de la longueur, fait entièrement d'accord avec la théorie admise.

Dans la règle, on peut affirmer que l'action des agents atmosphériques sur les glaciers d'une contrée produit simultanément les mêmes effets, qu'en particulier, ils présentent une similitude à peu près générale dans les variations du volume.

C'est ainsi qu'après les années 1816 et 1817, années singulièrement froides et pluvieuses, j'ai vu les glaciers des Alpes atteindre le maximum du développement signalé, jusqu'ici, dans le siècle où nous vivons ; le glacier de Gétroz avait barré la vallée de Bagne, et celui des Bossons menaçait d'atteindre l'Arve dans la vallée de Chamonix ; tandis qu'après les étés chauds et secs de 1863, 1864 et 1865, j'ai

pu constater un amoindrissement général des glaciers de la chaîne du Mont-Blanc, dans ceux du Valais, de l'Oberland bernois, des Grisons et du Tyrol.

Cependant on connaît aussi des glaciers, même rapprochés les uns des autres, qui ont échappé à la règle de similitude de leurs modifications, et qui, pour être voisins n'en offrent pas moins des changements en sens inverse.

Tels sont, aux environs de Zermatt, les glaciers de Gorner et de Findelen (Pl. XI, *fig.* 2).

Lors de ma première visite de cette belle contrée, c'était en 1844, je fus très-frappé de trouver le premier de ces glaciers en voie de progression, tandis que le second offrait des traces de rétrogradation plus ou moins anciennes, comme il était facile de le constater par la position des moraines terminales relativement aux glaces les plus rapprochées.

J'ai su depuis, que vers 1850 l'épaisseur de ce glacier avait beaucoup diminué; qu'à partir de 1851, le pied de Findelen s'était retiré de plus en plus et d'une manière plus prononcée qu'aux autres glaciers des environs de Zermatt.

A cette époque, les glaces de Gorner, après avoir comblé un vallon recouvert par de beaux pâturages et contenant quelques habitations, avaient atteint un bois de mélèzes, et, soulevant devant elles le sol comme un gigantesque soc de charrue, elles en renversaient les plus gros arbres comme des brins de paille. La forêt était bordée à l'aval par une prairie dans laquelle se trouvaient disséminées des maisons dont les unes servaient de granges, les autres d'habitations; toutes étaient alors évidemment menacées par le glacier, dont suivant, M. Clémenz, l'avancement s'était élevé jusqu'à 22 mètres en 1853.

Quand je visitai le pied du glacier de Gorner, en 1862, la forêt, la prairie avec ses maisons, avaient disparu sous les glaces qui poussaient devant elles une imposante moraine.

M. Clémenz avait acquis une de ces maisons pour en utiliser la couverture; jugeant la famille qui l'habitait par trop exposée aux dévastations de son redoutable voisin, il alla jusqu'à la contrainte pour obtenir le déguerpissement. Le nouveau propriétaire avait bien jugé de la situation, car, lorsqu'il voulut enlever la toiture, il trouva sa maison renversée dans la moraine.

D'après une série d'observations suivies pendant quinze ans, il a constaté que les progrès annuels du pied de Gorner ont été, depuis 1851 à 1855 inclusivement, de 17 mètres, 19 mètres, 22 mètres, 11 mètres, 4 mètres; qu'en 1856 et 1857 ils n'ont pas dépassé 2 à 3 mètres; que la progression après une durée de soixante ans (*) a cessé en 1859; que de 1860 à 1865 la partie antérieure du glacier à peu près immobile a constamment diminué d'épaisseur.

J'ai revu le glacier de Gorner en 1866; il avait alors commencé son mouvement rétrograde, mais faiblement, car son pied n'était encore qu'à peu de distance de la moraine terminale.

Quelques détails topographiques sur les deux glaciers de Findelen et de Gorner expliqueront l'étonnement que devait m'inspirer la simultanéité de leurs modifications en sens opposé.

Ils descendent tous deux de cette gigantesque muraille de rochers qui, continuant la direction nord-sud des montagnes du Saasgrat, les rattache sans discontinuité au groupe du mont Rose, et sépare, à l'origine de la vallée de Macugnaga, le territoire italien de celui du Valais. Vers le milieu de cette crête formidable s'élève la Cima di Jazi, flanquée au sud par l'ancien Weissthor, au nord par le nouveau Weissthor, deux cols permettant un passage assez peu facile entre la Suisse et l'Italie.

(*) Cette durée de soixante ans est constatée par des témoins oculaires encore vivants.

Réunis près de leur origine, les glaciers de Gorner et de Findelen sont séparés plus bas par le chaînon qui, commençant tout près et au sud de Zermatt, compte au nombre de ses sommités le Riffelhorn, le Gornergrat, et se termine au Stockhorn; tous deux, en côtoyant ce chaînon, courent de l'est à l'ouest.

Une ondulation prononcée dans la plaine de glace qui précède la séparation des deux glaciers, indique le prolongement du chaînon de Gornergrat vers un angle de la haute crête, saillant à l'ouest, entre la Cima di Jazi et l'Alt-Weissthor; on peut dire que cet angle ainsi que le prolongement sous-glacial du chaînon de Gornergrat déterminent, dès leur origine, les bassins particuliers aux deux glaciers dont nous nous occupons.

Il n'est pas sans intérêt d'observer que, dans leurs régions supérieures, le bassin correspondant au glacier de Findelen l'emporte sensiblement en étendue sur celui de Gorner.

Mais le premier n'a que deux affluents, l'Adlergletscher vers le nord, et le Triftgégletscher au côté du sud, tandis que l'autre reçoit six affluents, parmi lesquels on en compte de fort considérables, et qui lui arrivent par les régions du sud-est et du sud. Ces affluents sont les glaciers du mont Rose, celui de Grenz amenant avec lui le Zwillingégletscher, puis le Schwartzegletscher, le Kleinmatterhorngletscher, et le Unter Théodulgletscher.

Personne n'ignore que les changements dans la position du pied d'un glacier sont le résultat de la lutte inégale qui s'établit, sur ce point, entre le mouvement naturel dû à la pesanteur et l'action fondante de la chaleur. Si l'effet de la pesanteur l'emporte, le pied du glacier descendra dans la vallée; si c'est l'influence de la chaleur, il remontera, et l'on dit alors improprement que le glacier se retire, qu'il recule.

Il y a tout lieu de croire que le résultat final de la lutte

dépend d'un petit nombre de degrés en plus ou en moins, qu'une différence de trois ou quatre degrés, soit dans la température moyenne d'une année, soit en particulier dans celle de la vallée où le pied du glacier se trouve encaissé, suffit pour amener des résultats opposés.

Mais comment peut-il se faire que de deux glaciers, tels que Findelen et Gorner, ayant à peu près commune origine, même direction dans la majeure partie du parcours, et qui se terminent à moins de quatre kilomètres l'un de l'autre, comptés en ligne directe, que de deux glaciers offrant de telles analogies de parcours et de situation géographique, l'un ait, pendant plus de quinze ans, continué son mouvement progressif vers l'aval, tandis que l'autre se retirait vers l'amont de la vallée en s'éloignant de plus en plus de ses moraines terminales?

Le nombre et la puissance des affluents de Gorner motiveraient, dans une certaine mesure, la supériorité de sa marche progressive, mais n'expliqueraient pas complétement une modification de volume en sens contraire soutenue pendant une longue série d'années.

Il m'a paru qu'il fallait en rechercher l'explication dans d'autres causes, que c'était surtout à des conditions topographiques, et notamment à l'orientation de certaines parties du glacier, qu'on devait l'attribuer.

Examinons, et prenons d'abord le glacier de Findelen.

Courant de l'est à l'ouest d'un bout à l'autre de son étendue, et faiblement encaissé du côté du sud, il est, plus que beaucoup d'autres, exposé, durant la journée entière, à l'influence des rayons solaires, et notamment à celle du soleil couchant dont l'action doit être prépondérante. En sorte que si la masse du glacier, rendue plus plastique par cette action, et obéissant à la charge des masses supérieures, prend une certaine activité dans sa marche descendante, d'un autre côté, le pied du glacier mal abrité subit en même

temps l'action fondante de la chaleur qui, durant les étés chauds, a dû l'emporter sur la première.

Et ce ne sont pas seulement les moyens directs qui agissent, car le glacier de Findelen doit recevoir encore les rayons réfléchis par ce mur de rochers très-abrupt qui, sur son flanc droit, s'élève jusqu'au Fluhhorn et au Rothhorn.

En sorte que l'ablation doit y être considérable, et que, l'épaisseur diminuant de plus en plus, le mouvement progressif naturel doit en être affecté et ralenti.

Par tous ces motifs, il est naturel que le glacier de Findelen soit au nombre de ceux de la contrée qui s'amoindrissent le plus facilement.

Considérons maintenant le glacier de Gorner.

Nous l'avons déjà dit, ce glacier, dans la majeure partie de son cours suit également la direction est-ouest; toutefois, dans sa partie antérieure il se détourne vers le nord-ouest, et finalement vers le nord, adoptant la direction de la vallée de Zermatt dans laquelle il se trouve engagé. Nous avons vu de plus que ce glacier reçoit des affluents extrêmement considérables qui descendent de cette rangée de hautes montagnes situées entre le mont Rose et le col de Saint-Théodule, montagnes dont la plupart des cimes dépassent 4.000 mètres d'élévation. De tels affluents, alimentés à de telles hauteurs, protégés contre les vents chauds du sud, exposés aux vents froids du nord, défendront énergiquement le glacier de Gorner contre son amoindrissement durant les années sèches et chaudes, il perdra donc moins vite de son épaisseur; quand une température élevée en rendra la masse plus plastique, cette masse prendra un mouvement plus accéléré sous l'influence d'une pression à la fois forte et prolongée; et même, dans le bas du glacier, cette rapidité s'accroîtra par suite de la faible section de la vallée par laquelle s'effectue l'écoulement. Il est donc naturel que pendant une série d'années chaudes, le pied du glacier de Gorner soit descendu plus vite que celui de Fin-

delen. Mais comment se fait-il que ce mouvement n'ait pas été balancé et même vaincu par l'influence de la chaleur, et que le mouvement progressif se soit maintenu jusqu'en 1864?

Il doit y avoir là des causes particulières.

En effet, l'extrémité du glacier, encaissée dans une vallée profonde, étroite, et ouverte au nord, se trouve exposée aux vents les plus froids, en même temps que protégée contre les premiers et les derniers rayons solaires de la journée; l'air y restera froid plus longtemps que dans une vallée différemment orientée; l'action directe des rayons du soleil, moins longue qu'ailleurs, sera nécessairement moins efficace, et il en résultera une différence en moins de plusieurs degrés de chaleur, à la faveur desquels les glaces du pied, restées à l'état solide, avanceront en obéissant à la pression d'amont.

Ajoutons à cela que les nombreuses moraines dorsales qui paraissent à la surface de Gorner comme autant de rubans noirs, se rapprochent entre elles dans la région inférieure, et que ce qu'il en reste sur le glacier protége le pied de celui-ci contre l'action directe de la chaleur. L'accumulation des pierres est beaucoup moindre sur l'autre glacier.

En résumé, l'influence des années chaudes a dû s'exercer aussi bien sur Gorner que sur Findelen, en amollissant leur masse, en la rendant plus docile à l'effet de la pesanteur. Mais, à Findelen, l'action des affluents a été moins puissante en même temps que le pied du glacier, énergiquement entamé par les rayons solaires, surtout par ceux de la fin du jour, n'a pu se maintenir à l'état solide, et il s'amoindrissait de plus en plus par la fusion. On m'assure qu'il est celui de la contrée dont le retrait a été le plus prononcé.

A Gorner, au contraire, l'impulsion donnée par des affluents nombreux, puissants, et orientés vers le nord, a dû

être prolongée, l'ablation s'y est produite plus lentement qu'à Findelen, en même temps que le pied du glacier, beaucoup moins accessible à la fusion, descendait, dans une vallée étroite, sous l'impulsion d'une masse plastique énorme.

Cependant l'action continue de la chaleur, notamment en 1865, où les beaux jours ont duré jusqu'à la fin de septembre, a fini par l'emporter, et le glacier de Gorner, rentrant dans la règle générale, a manifesté, en 1866, un commencement de retrait, ainsi qu'il a été dit plus haut.

Il m'importait de savoir si d'autres faits recueillis dans la contrée viendraient à l'appui de mon opinion sur l'influence de l'orientation, et notamment sur celle de l'exposition d'un glacier au soleil couchant; par ce motif, je visitai, en août 1866, le glacier de Zmutt. Ce glacier, dont la direction dominante est de l'ouest à l'est, descend du mont Cervin et de la Dent d'Hérens; il reçoit aussi des affluents de la Tête Blanche et de la Dent Blanche. Abrité contre les vents chauds du sud par cette colossale crête de rochers dont la Dent d'Hérens et le Grand Cervin sont les cimes dominantes, il a le pied défendu contre les rayons solaires de la fin du jour, par les ombres portées de ces hautes montagnes. Ce glacier doit donc subir moins vite que d'autres l'influence des années sèches et chaudes (*).

Et en effet, si l'on en juge par les situations relatives des glaces actuelles et des anciennes moraines frontales, le glacier de Zmutt aurait relativement peu reculé.

Des faits analogues se sont passés ailleurs. Ayant communiqué mon travail à M. Édouard Collomb, cet habile observateur, après avoir rappelé l'influence exercée sur l'ablation par les moraines superficielles, m'a cité le glacier

(*) Il ne faut pas omettre que le pied du glacier est aussi protégé contre l'influence solaire par des masses de pierre considérables provenant des moraines qu'il amène avec lui.

d'Aletsch comme subissant depuis plusieurs années un fort notable retrait, et cependant il est pourvu d'un très-grand bassin d'alimentation entouré par la Jungfrau, le Mœnch, les Viescherhœrner, l'Aletschhorn et autres sommités dont l'altitude atteint ou dépasse 4.000 mètres; il reçoit des affluents considérables, il est le plus long des glaciers du groupe des Alpes, car il n'a pas moins de 24 kilomètres d'étendue, et il offre une épaisseur de glace estimée par M. Collomb à 300 mètres en moyenne. Mais ce glacier est exposé en plein sud, et sa surface, très-peu chargée par les débris des roches encaissantes, n'est en aucune manière protégée contre la chaleur extérieure.

On a tout lieu de penser que les glaciers des Alpes, dans leur généralité, sont aujourd'hui bien près de leur minimum d'extension, puisqu'à la faveur de la saison froide et pluvieuse de 1866, ils ont été tous plus ou moins chargés de neige à une époque de l'année où la glace est habituellement découverte.

Dans mes récentes excursions aux environs de Zermatt et de Chamonix, j'ai trouvé, sur tous les glaciers, des neiges de l'année; sur celui du Tacul, notamment, j'ai constaté des accumulations de neige considérables qui, sur un point, dans les séracs du Géant, atteignaient, suivant l'évaluation de mes guides, jusqu'à 20 mètres d'épaisseur. Nous étions alors au mois de septembre, et des neiges aussi fortement tassées ne devaient plus disparaître avant l'hiver.

Si l'été de 1867 n'est pas plus chaud que celui de 1866, il ne serait pas étonnant que l'épaisseur des glaciers venant à augmenter de plus en plus, il en résultât bientôt, d'une manière générale, un mouvement progressif du pied des glaciers dans toute la chaîne des Alpes.

On peut croire que des investigations semblables à celles dont je viens de rendre compte, répétées dans toutes les chaînes de montagnes à glaciers, conduiraient à la découverte de règles d'après lesquelles on connaîtrait, jusqu'à

un certain point, la mesure dans laquelle les glaciers sont accessibles aux variations de volume, ainsi que les circonstances météorologiques dont le concours les favorisait.

Rarement, dans l'observation des glaciers, le travail intellectuel s'arrête aux questions de date et de science dont ma notice offre une légère esquisse ; cette étude acquiert un attrait particulier par la beauté des lieux où elle nous conduit. Sous l'influence de la grandeur des sites dont l'observateur est entouré, sa pensée, dégagée des petitesses de la vie habituelle, s'élève par degrés jusqu'à l'infini et même au déclin de la vie, quand les brillantes couleurs de la jeunesse ont perdu leur éclat, l'âme, saisie d'admiration en présence de pareilles splendeurs, subit un charme inexprimable et s'abandonne aux plus irrésistibles entraînements.

P. S. J'ai revu les glaciers de Gorner et de Findelen au mois d'août 1867.

Le glacier de Findelen dépourvu de moraines dorsales dans sa région antérieure se montre complétement à découvert, et continue de s'amoindrir, *sans même* laisser de moraines frontales permettant d'évaluer le retrait. Une grande moraine latérale bordant la rive gauche du glacier témoigne d'une ablation considérable.

Quant au glacier de Gorner, malgré les puissantes moraines qu'il charrie sur son dos, il a diminué en largeur et en épaisseur ; quant à la longueur, j'ai mesuré 49 mètres de la moraine frontale extrême au pied actuel du glacier.

Il subit donc aujourd'hui la loi commune, il est entré dans sa période d'amoindrissement.

NOTICE

SUR LES MINES DE LA PROVINCE DE CORDOUE.

Par M. L. Denis DE LAGARDE, ingénieur attaché à l'ambassade de France, à Madrid, ancien élève de l'École des mines.

Bassin houiller et métallifère d'Espiel et Belmez.

I. Terrain houiller de la province de Cordoue.

Situation. Aperçu géologique. — Presqu'au centre de la Sierra Morena, à 40 kilomètres au nord de Cordoue, commence le terrain houiller, dont fait partie le bassin d'Espiel et Belmez. A partir de ce point, ce terrain s'étend en direction à N. 40° O. sur une longueur reconnue de 50 kilomètres; sa largeur maximum est de 4.000 à 4.500 mètres et sa largeur moyenne de 2.700 mètres, soit une superficie totale de 135 *kilomètres quarrés* environ.

Ce terrain houiller (faible débris sans doute d'une vaste formation carbonifère) se trouve limité au nord et au sud par les terrains de transition dont le soulèvement, évidemment postérieur à la formation carbonifère, doit être rattaché au système de la Sierra Morena; à l'est et à l'ouest, ces mêmes terrains de transition se sont rapprochés; il en est résulté la disparition, presque complète en ces points, de la formation carbonifère qui ne se retrouve plus qu'en fragments isolés. Cette sorte d'étranglement s'est surtout fait sentir à l'extrémité sud-est de la formation; au nord-ouest le terrain paraît avoir été moins bouleversé, quelques travaux de recherches faits dans cette partie donneraient probablement de bons résultats.

Toujours est-il qu'aujourd'hui le terrain houiller est reconnu sur une longueur de 50 kilomètres environ comprise depuis le village de Villaharta jusqu'au ruisseau de la Panilla; il traverse du S.-S.-E. au N.-E.-O. les communes de Villaharta, Espiel, Villanueva del Rey, Belmez et de Fuente Obejuna; il est traversé sur presque toute sa longueur par le Rio Guadiato, affluent du Guadalquivir.

La direction générale des roches sédimentaires de cette formation est N. 40° O.; les variations partielles qui s'observent sont en relation avec les ondulations qu'a éprouvées, par suite des divers soulèvements postérieurs, le terrain silurien sur lequel elles reposent dans la partie nord. Leur inclinaison est comprise entre 45 et 70 degrés, ce qui permet d'étudier aux affleurements la succession des couches composant la formation.

A la base du terrain se trouve une assise assez puissante de conglomérats à gros éléments, puis une base de poudingues au-dessus des grès à gros grains, et enfin des assises alternantes de schistes argileux anciens, de grès fins, de schistes, d'argiles, etc. C'est entre ces dernières que se trouvent les couches de houille et de fer carbonaté lithoïde.

Au sud, les perturbations souterraines ont dû être plus intenses qu'au nord; les éruptions des granites, diorites et porphyres sont plus considérables, plus rapprochées, et le terrain houiller se trouve interrompu en plusieurs points par l'apparition du calcaire carbonifère.

Cependant cette partie sud de la formation ne se prête pas facilement aux observations, les stratifications du terrain sont recouvertes par une couche assez épaisse de terrain mort, et il n'y a pas de travaux permettant de se rendre compte de la composition et des allures des dépôts.

Le but de cette notice étant purement industriel, il n'y a pas lieu d'entrer dans des détails techniques sur la constitution géologique des terrains; nous commencerons donc

immédiatement la description des divers groupes qui composent le bassin houiller de la province de Cordoue.

Ce terrain houiller peut être subdivisé en trois bassins secondaires :

1° A l'extrémité S.-S.-E. le bassin de Villaharta;

2° A l'extrémité N.-N.-O. le bassin de Fuente Obejuna;

3° Au centre le bassin d'Espiel et Belmez.

Bassins de Villaharta et de Fuente Obejuna.

Les bassins de Villaharta et de Fuente Obejuna sont de beaucoup moins importants que celui d'Espiel et Belmez; ils ont moins de développement, et les houilles que l'on y a rencontrées sont maigres et anthraciteuses. Les travaux exécutés jusqu'à présent sont à peu près nuls; il est impossible de se rendre compte de la richesse et de l'avenir de ces deux premiers bassins. Toutefois celui de Fuente Obejuna est plus large, le terrain a été moins bouleversé, et il est probable que l'on y rencontrera des couches assez régulières; il est en outre appelé par sa position à prendre un développement plus rapide que celui de Villaharta; le chemin de fer houiller de Belmez à Cabeza del Buey, qui doit être ouvert à l'exploitation vers le mois d'avril 1866, passera au centre de ce bassin secondaire.

Bassin d'Espiel et Belmez.

La partie la plus importante du terrain houiller de la province de Cordoue est la partie centrale, le bassin d'Espiel et Belmez (*fig.* 3, Pl. XI). Il s'étend sur une longueur de 36 kilomètres, comptés à partir du cinquième kilomètre au S.-E. d'Espiel jusqu'au huitième kilomètre au N.-O. de Belmez. Une multitude de trous de 8 à 10 mètres de profondeur couvrent la superficie du bassin; on retrouve là encore ce que l'on observe, sans exception, sur tous les terrains mi-

niers en Espagne ; avant d'arriver à la période d'exploitation, les gisements les plus beaux restent, pendant un temps souvent très-long, entre les mains de spéculateurs, pour lesquels l'industrie consiste uniquement à émettre des titres, faire des appels de fonds, ou à chercher des acheteurs; quant à l'exploitation sérieuse et économique des mines, ils ne s'en inquiètent que fort peu.

C'est pendant cette période, qui a duré une vingtaine d'années pour le bassin houiller de Cordoue, que se sont faits au hasard cette multitude de petits puits de 8 mètres à 10 mètres de profondeur.

Mais depuis cinq ou six ans plusieurs compagnies ont cherché à mettre réellement en valeur les richesses de ce bassin ; la compagnie Parent et Schaken qui, entre autres mines, possède la fameuse *Terrible*, fait de grands travaux préparatoires, et pourra, dès l'ouverture du chemin de fer de Belmez à Cabeza del Buey, faire d'assez fortes expéditions. Une autre compagnie espagnole, « la Fusion, » a voulu, comme son titre l'indique, fusionner les intérêts des nombreux petits propriétaires des mines du bassin ; c'est principalement à ces deux compagnies que l'on doit les quelques travaux sérieux exécutés à Espiel et Belmez.

La superficie de ce bassin est d'environ 90 kilomètres quarrés. A la partie S.-S.-E. il est très-étroit, il a en face d'Espiel une largeur de 800 à 1.000 mètres. A partir d'Espiel, en allant au N.-N.-O., le bassin s'élargit de plus en plus et il atteint en face de Villanueva del Rey sa largeur maximum de 4.500 mètres ; depuis ce point il diminue jusqu'à Belmez où il n'a plus que 3.000 mètres de largeur, largeur qu'il conserve jusqu'à son extrémité N.-N.-O.

Les travaux de recherches n'ont pas été suffisamment développés sur l'ensemble du bassin pour que l'on puisse déterminer avec certitude quelle relation de continuité existe entre les couches mises à découvert dans les divers groupes ; on ne peut qu'en donner la description séparément et indi-

quer s'il est plus ou moins probable qu'elles se correspondent entre elles.

Premier groupe. — En parcourant le bassin du S.-S.-E. au N.-N.-O., les premiers travaux que l'on rencontre avant d'arriver à Espiel ont mis à découvert trois couches distinctes; elles ont de 1 mètre à $1^m,50$ de puissance; leur direction est comprise entre 35° et 40°, leur pendage 35° S.-S.-O. Elles ont été reconnues par des puits qui ont environ 40 mètres de profondeur. Le charbon est compacte; il donne une assez forte proportion de gros, mais il s'agglomère mal par la chaleur; il ne donne pas de coke à l'air libre; peut-être en donnerait-il dans des fours fermés, mélangé avec une certaine proportion de charbon bitumineux.

Deuxième groupe. — Dans un autre groupe de mines, situé à 2 kilomètres au delà d'Espiel, et distant du premier de 5 à 6 kilomètres, ces mêmes couches ont été recoupées. On ne peut pas affirmer d'une manière absolue qu'elles sont le prolongement des premières, mais l'étude extérieure du terrain, la nature des roches encaissantes, qui sont les mêmes dans les deux groupes, l'uniformité de la puissance des couches et la nature identique des charbons, sont autant de raisons qui autorisent à admettre la continuité comme un fait à peu près certain.

Troisième groupe. — Un troisième groupe de mines, situé à peu près à égale distance d'Espiel et Belmez, se présente dans des conditions analogues.

Les couches de ces trois premiers groupes se trouvent situées dans la zone nord du bassin; dans la zone centrale et la zone sud correspondante il n'a été fait aucune recherche sérieuse, mais les couches mises à découvert dans le quatrième groupe appartiennent à la zone centrale, et il est à supposer que quelques-unes de ces dernières pourront se retrouver dans la partie sud du troisième et du deuxième groupe. Les affleurements de deux couches, mises à découvert dans le lit du Rio Guadiato à 4 ou 5 kilomètres au S.-O.

du deuxième groupe semblent confirmer cette supposition.

Ces affleurements annoncent des couches plus puissantes que celles découvertes dans le deuxième groupe ; elles sont perpendiculairement à la stratification générale du terrain, à une distance de 500 mètres environ du prolongement probable de ces dernières ; enfin rien n'annonce à la superficie un mouvement de terrain, un plissement qui puisse faire supposer que ces affleurements correspondent aux couches du deuxième groupe. Tout, au contraire, tend à prouver qu'elles sont sur le prolongement du quatrième, c'est-à-dire qu'elles appartiennent à la zone centrale.

Quatrième groupe. — Les travaux du quatrième groupe ont été faits sur la zone centrale dans la mine *Cabeza de Vaca*, appartenant à la compagnie la « Fusion. »

Quatre couches parfaitement distinctes ont été recoupées dans cette mine ; nous en donnons deux croquis (Pl. XI, *fig.* 4 et 5) : l'un représente une coupe horizontale prise à 60 mètres de profondeur, le second une coupe verticale. Les trois premières ont été reconnues jusqu'à 80 mètres de profondeur ; la couche n° 4 a été reconnue jusqu'à 70 mètres. Leur direction est de 40 à 45° ; leurs puissances respectives sont :

N° 1.	8 mètres.
N° 2.	1m.25 à 1m.50.
N° 3.	0m.75 à 1 mètre.

La n° 4 affecte la forme dite en chapelet, c'est-à-dire qu'elle est composée d'une suite d'amas qui se suivent à peu de distance les uns des autres ; quelques-uns de ces amas ont jusqu'à 80 mètres et plus de long sur 10 et 20 mètres au renflement.

La couche n° 1 a été suivie en direction par une galerie de 160 mètres environ ; elle donne du charbon très-consistant, mais sec.

La n° 2, suivie à l'intérieur sur une longueur de 40 mè-

tres seulement, donne du charbon un peu moins sec que la précédente.

La n° 3, suivie en direction sur 60 mètres, donne du charbon qui pourra se transformer en coke dans des fours fermés.

Enfin la couche n° 4 a été reconnue en galerie sur 200 mètres, elle donne par calcination un coke léger, poreux, mais très-dur.

La prolongation de ces quatre couches se reconnaît à la superficie sur une longueur de 1.000 à 1.200 mètres.

Ces couches, comme il a été dit plus haut, appartiennent à la zone centrale ; on n'a fait aucun travail dans la partie sud de ce groupe; au nord, d'après les indices fournis par les affleurements, deux ou trois couches pourront être recoupées. Nous consignerons plus loin les résultats que nous ont fournis les essais de divers charbons provenant du bassin d'Espiel et Belmez.

Cinquième groupe. — Le groupe le plus important est le cinquième dans lequel se trouvent les mines la *Terrible*, la *Santa Elisa* et la *S. Federico.*

Le bassin dans cette partie a une largeur de 2.700 à 3.000 mètres.

C'est encore sur les zones de la couche centrale que les travaux ont été concentrés.

Dans la zone sud, quelques recherches superficielles ont été faites; deux couches ont été mises à découvert; elles ont de $1^{m},50$ à 2 mètres de puissance; leur charbon est maigre Deux autres sont accusées par leurs affleurements; la puissance totale des couches de cette zone peut être évaluée à 5 mètres au minimum.

Dans la zone nord, trois couches ont été reconnues, mais une seule a été mise en exploitation : c'est celle recoupée dans la mine *S. Federico.*

Dans les mines de la zone centrale, la *Santa Elisa* et la *Terrible*, on exploite d'immenses massifs de charbon; la

forme du dépôt est la même que celle de la n° 4 du groupe de *Cabeza de Vaca*, une suite d'amas qui se suivent à peu de distance les uns des autres. Il est fort probable que les amas de la *Santa Elisa* et de la *Terrible* sont la continuation de la couche n° 4 de la *Cabeza de Vaca*. La seule différence qui existe entre les dépôts de ces deux groupes consiste uniquement dans la nature des houilles, qui sont plus grasses dans le groupe de la *Santa Elisa* et la *Terrible*.

Nous donnons ci-joint deux coupes, l'une verticale et l'autre horizontale de la *Santa Elisa* (Pl. XI, *fig.* 6 et 7).

La couche de la *Santa Elisa* appartenant à « la Fusion, » a été reconnue jusqu'à 85 mètres de profondeur, où elle a été recoupée par le puits principal avec 17 mètres de puissance. Les anciens travaux, éboulés aujourd'hui, l'avaient rencontrée à 33 mètres. La direction est toujours N.-N.-O.; son inclinaison atteint 65 degrés à la partie supérieure et tend à diminuer en profondeur.

Du puits principal, qui a 100 mètres, on a mené trois galeries, et au niveau de chacune d'elles, on a tracé un étage d'exploitation; la coupe horizontale correspondant au premier étage situé à 70 mètres montre la forme qu'affecte la masse de charbon; elle a 16 mètres de puissance, tend à diminuer vers le S.-E., mais elle devient au contraire plus grande vers le N.-O.

La couche la *Terrible* a une puissance moyenne de 15 à 16 mètres, et en quelques endroits elle atteint 40 mètres; le charbon se rencontre à 30 mètres de profondeur, et a été reconnu suivant la verticale sur 50 mètres. En direction N.-N.-O., on a ouvert trois autres puits : l'un d'eux, situé à 800 mètres des premiers travaux, a rencontré la couche avec une puissance de 15 à 16 mètres; les deux autres l'ont recoupée également, mais la puissance est réduite à 8 mètres et le charbon change de nature; il n'est plus aussi bitumineux; il semble, en se dirigeant vers l'extrémité N. N.-O.

du bassin, que la houille s'altère peu à peu; à l'extrémité N.-O. du bassin houiller, on n'a encore rencontré que des charbons maigres et anthraciteux.

La mine *S. Federico*, située au nord de la *Santa Elisa* et de la *Terrible*, n'est plus exploitée depuis quelque temps; deux compagnies s'en disputent la propriété : les éboulements survenus dans les travaux abandonnés en interdisent l'entrée. D'après les plans que nous avons consultés le premier étage est à 22 mètres de la superficie, le second à 29 mètres et le troisième à 37 mètres.

La couche de la *S. Federico* tend vers la partie ouest à se réunir avec l'immense dépôt de la *Terrible*.

D'après ce qui précède, le prolongement au N.-O. des couches du cinquième groupe est reconnu d'une manière positive, par des travaux sérieux sur une longueur de plus de 3 kilomètres; au delà le terrain houiller se prolonge encore sur 4 ou 5 kilomètres, avec une régularité telle qu'il est à peu près certain que les mêmes couches doivent s'y rencontrer. Entre la *Santa Elisa* et le quatrième groupe, bien qu'aucun travail important n'ait été fait, la grande analogie qui existe entre la couche *Santa Elisa* et la couche nº 4 du groupe de *Cabeza de Vaca*, la stratification régulière du terrain qui s'observe aux affleurements, rendent aussi très-probable l'existence de ces couches entre ces deux points extrêmes.

Évaluation du cubage des houilles du bassin d'Espiel et Belmez.

Il est impossible de faire exactement cette évaluation. Aucun sondage n'a été fait pour connaître la richesse du bassin en profondeur; les travaux exécutés n'atteignent 100 mètres qu'en deux ou trois points : dans les trois premiers groupes les travaux sont à peu près nuls. Nous comprenons dans les calculs de cubage qui suivent : 1° la quantité de charbons parfaitement reconnue; 2° celle qui

ne se trouve pas comprise dans la première partie, mais sur laquelle on peut compter comme sur un minimum certain.

Résumé du cubage des houilles.

GROUPES.	QUANTITÉS reconnues.	QUANTITÉS que l'on peut admettre comme minimum certain.	TOTAUX.
	mètres.	mètres.	mètres.
Premier groupe.	1.800.000	3.600.000	5.400.000
Deuxième groupe.	3.600.000	9.600.000	13.200.000
Troisième groupe.	2.700.000	12.500.000	15.200.000
Quatrième groupe.	12.000.000	20.000.000	32.000.000
Cinquième groupe.	27.000.000	36.000.000	63.000.000
Totaux.	47.100.000	81.700.000	128.800.000

On peut donc admettre que le bassin d'Espiel et Belmez possède au minimum 128.800.000 mètres cubes de houille, soit 155.000.000 de tonnes. Ce résultat ne comprend pas les houilles que renferment les bassins de Villaharta et de Fuente Obejuna; et il est fort possible que l'on puisse affirmer d'ici quelques années, lorsque les travaux auront pris plus de développement, que la richesse du bassin houiller de la province de Cordoue s'élève à plus de 300.000.000 de tonnes de houille.

Nature des houilles.

Le bassin d'Espiel et Belmez renferme des houilles de toute nature, depuis la houille la plus grasse, la plus bitumineuse, jusqu'à la houille maigre anthraciteuse. Les houilles sèches et maigres se rencontrent aux deux extrémités S.-E. et N.-O. du bassin. Le centre du bassin, c'est-à-dire la partie qui comprend le quatrième groupe et les mines la *Terrible*, *Santa Elisa*, *S. Federico* renferment des

houilles de qualité supérieure. Nous résumons dans les tableaux suivants les résultats publiés par M. Bonnet, professeur de chimie à l'école industrielle de Madrid, et ceux que nous avons obtenus personnellement.

Résultats fournis par M. Bonnet.

MINES.	Eau.	Matières volatiles.	Cendres.	Coke.	Cendres du coke.	Observations.
Santa Elisa.	1,658	20,542	1,92	76,280	2,000	(*a*)
San Federico.	3,679	30,191	2,08	64,100	3,168	(*b*)
Cabeza de Vaca.	3,297	31,043	3,26	63,400	3,571	(*c*)
Trapizondas.	3,047	28,208	3,58	65,165	5,500	(*d*)

(*a*) Couche de 15 mètres de puissance située à 23 mètres de profondeur.
(*b*) Échantillon provenant du 3ᵉ étage.
(*c*) Échantillon provenant du 4ᵉ étage à 63 mètres.
(*d*) Mine du premier groupe.

Les résultats que nous avons obtenus sont les suivants :

GROUPES.	MINES.	RENDEMENT en coke.	CHARBON fixe.	MATIÈRES volatiles.	CENDRES.
Premier groupe. . .	Raphaël. . . . . (nº 1)	60,40	56,60	39,60	3,80
Deuxième groupe. .	Confianza. . . . (nº 2)	61,20	57,20	38,80	4,00
Quatrième groupe. .	Cabeza de Vaca (nº 3)	58,60	51,80	41,40	6,80
Quatrième groupe. .	*Id.* . . . . . (nº 4)	56,60	50,60	43,20	6,20
Quatrième groupe. .	*Id.* . . . . . (nº 5)	57,40	48,40	42,60	9,00
Quatrième groupe. .	*Id.* . . . . . (nº 6)	58,00	55,40	42,00	2,60
Cinquième groupe. .	Santa Elisa. . . (nº 7)	68,20	63,80	31,80	4,40
Cinquième groupe. .	*Id.* . . . . . (nº 8)	66,75	63,55	33,25	3,20
Cinquième groupe. .	*Id.* . . . . . (nº 9)	71,00	68,20	29,00	2,80

OBSERVATIONS.

Nº 1. Échantillon provenant de la mine Raphaël, pris à 19 mètres de profondeur; houille noire, terne, compacte et dure, quelques mouches de

pyrite. Combustion assez vive; flammes abondantes et brillantes. — Calcination au creuset; beau coke argentin, compacte et résistant; cendres jaunâtres argileuses.

N° 2. De la mine Confianza. — Charbon noir brillant, compacte, sans pyrite, structure lamelleuse; poussière assez dure; combustion un peu lente; faible agglutination; flammes peu persistantes. Calcination, coke noir, compacte et résistant; cendres blanches argileuses.

N° 3. De la mine Cabeza de Vaca.—Couche n° 1. Houille noire, très-brillante, très-dure, structure lamelleuse. Combustion assez rapide; les fragments se divisent d'abord pour s'agglutiner ensuite; flamme longue, brillante; forte proportion de vapeurs bitumineuses. Calcination, coke léger, caverneux argentin assez résistant. Cendres blanchâtres, argilo-calcaires. — Les n°s 3, 4, 5, 6, provenant des couches n°s 1, 2, 3, 4, de la mina Cabeza de Vaca, ont tous les mêmes caractères, cependant les échantillons n°s 5 et 6, provenant des couches 3 et 4, brûlent plus rapidement que les deux premiers; ils s'agglomèrent davantage par la chaleur et donnent un coke plus résistant.

N°s 5, 6 et 7. Ces divers échantillons provenant tous trois de la mine Santa Elisa ont les mêmes caractères extérieurs et se comportent de la même façon au foyer et à la calcination; houilles noires, brillantes, compactes; structure lamelleuse donnant une forte proportion de gros dans l'exploitation, tachant les doigts; poussière noire un peu terne, douce au toucher; trace de pyrite. — Combustion au foyer : un peu tardive les fragments ne se subdivisent pas; ils s'agglomèrent, se boursouflent; flammes brillantes. — Calcination au creuset : très-beau coke résistant; cendres rougeâtres argilo-calcaires.

On voit d'après les résultats précédents que ces houilles sont de très-bonne qualité et peuvent servir pour les foyers domestiques, le chauffage des appareils à vapeur, des fours. Les cokes qu'elles fournissent sont bons pour les locomotives, hauts fourneaux, etc. Enfin les charbons provenant des couches de la *Cabeza de Vaca* donneront très-probablement de bons résultats appliqués à la fabrication du gaz.

Ces houilles sont propres, leur teneur en cendre est assez faibles; elles sont tout aussi bonnes que les houilles anglaises et peuvent leur être substituées avec un immense avantage en Espagne surtout au point de vue économique.

Exploitation.

L'existence du bassin houiller d'Espiel et Belmez est connue depuis le milieu du siècle dernier. De 1790 à 1799, quelques petits travaux furent exécutés sur des affleurements, et le charbon extrait fut expédié à l'établissement des mines d'Almaden : les années suivantes ces houillères ne furent utilisées que par les forgerons du pays.

Depuis huit ou dix ans ce bassin a fourni quelques milliers de tonnes aux usines à plomb de Linarès, des environs de Cordoue, aux forges du Pedroso et à quelques moulins à vapeur. D'après les statistiques officielles, les quantités extraites ont été :

1861.	12.981 tonnes.
1862.	11.071 —

Ces extractions annuelles ne correspondent pas à la cinquantième partie de ce que le bassin houiller d'Espiel et Belmez est appelé à produire.

Quant au système d'exploitation suivi, il a consisté jusqu'à ces dernières années en une méthode que l'on pourrait dénommer *méthode par petits puits ou de grattage.* Elle consiste à faire une série de trous sur les affleurements; dès qu'un amincissement, un éboulement ou un peu d'eau se manifeste, le trou exploité est de suite abandonné et l'on en commence un autre à quelques mètres plus loin. Les quantités incommensurables de trous que l'on rencontre sur la plupart des terrains miniers en Espagne ne doivent pas uniquement leur origine à cette méthode d'exploitation proprement dite; la subdivision à l'infini de la propriété minière, les nombreux procès qui en résultent, apportent aussi leur contingent, ce qui donne un cachet tout à fait particulier à certains terrains de mines, qui ont été longtemps l'objet de la convoitise d'une masse de petits

spéculateurs. Depuis trois ou quatre ans, la compagnie Parent et la compagnie la Fusion ont commencé des travaux sérieux. La première s'est proposé d'exploiter à ciel ouvert la masse considérable de la *Terrible*, qui en certains points n'est recouverte que par 30 ou 40 mètres de terrain mort. Cette compagnie espère mettre promptement à découvert le gisement et pouvoir expédier de 80.000 à 100.000 tonnes de combustible dès l'ouverture de la ligne de Belmez à Cabeza de Buey.

La compagnie Fusion a fait des travaux de traçage dans les groupes de la *Santa Elisa* et de *Cabeza de Vaca*. Le système d'exploitation suivi a été la méthode dite par piliers et galeries; cette méthode paraît peu appropriée à la nature du gisement; elle entraînera des pertes de charbon considérables qui ne seront certainement pas compensées par l'économie qu'elle pourra procurer dans les dépenses d'extraction proprement dite.

Ces deux compagnies en exploitant seulement les mines qu'elles possèdent dans le cinquième et le sixième groupe, peuvent fournir d'ici un an à dix-huit mois de 150 à 200.000 tonnes de combustible par an.

Conditions économiques. — Calcul du prix de revient d'une tonne de houille extraite.

On peut déterminer assez exactement le prix de revient d'une tonne de houille, prise sur le carreau des mines, en supposant l'ensemble de ces mines en pleine exploitation, c'est-à-dire pour une production annuelle de 150.000 tonnes environ. Ce prix de revient peut s'établir de la façon suivante :

1° Dépenses d'exploitation.

	Réaux.		
Abattage	4,50	à	5
Transports intérieurs	1,50	à	1.50
Boisage	3,00	à	4,00
Remblayage	1,50	à	2,00
Extraction	1,50	à	2,00
Entretien de l'outillage	0,50	à	0,50
Conservation des édifices et du mobilier.	1,00	à	1,00
2° Frais généraux permanents.			
Administration. — Personnel. — Voyages. — Frais de bureau. — Mouvement de fonds. — Contributions. — Divers.	6,00	à	6,50
3° Comptes généraux d'amortissement.			
Travaux préparatoires, tout compris (bâtiments, machines, mobilier, dépôts).	2,00	à	2,50
Total du prix de revient d'une tonne.	24,00	à	28,00

(Le réal vaut 0f,263.)

Soit 26 réaux comme prix de revient moyen d'une tonne extraite. Ce prix assez bas, grâce aux conditions spécialement avantageuses des gisements, ne pourra pourtant être atteint qu'après un certain temps d'exploitation courante et non sans quelques difficultés.

Dès le début d'une grande exploitation, la main-d'œuvre est toujours chère, il faut former une population ouvrière, et en attendant faire appel aux mineurs qui se trouvent plus ou moins éloignés. Pour Belmez et Espiel une autre difficulté beaucoup plus grave que la précédente, résulte de l'absence à peu près complète de bois dans le pays. Pour obvier à cet inconvénient, il faudra faire venir des bois étrangers et adopter un système d'exploitation tendant à remplacer le plus possible le boisage par le remblayage.

La méthode d'exploitation à ciel ouvert appliquée à la *Terrible* aura tourné la difficulté; mais le déplacement de la masse immense de terrain mort qu'il faut enlever avant d'arriver à la couche, nécessitera sans doute des dépenses au moins égales, et peut-être même supérieures à celles qu'aurait occasionnées un système mixte d'exploitation où l'on aurait simultanément employé le boisage et le remblayage. Il serait en outre à craindre qu'il survînt de forts éboulements dans ces immenses tranchées à la suite des pluies torrentielles d'automne et d'hiver, si cette entreprise hardie ne se trouvait entre les mains de personnes expérimentées.

Produits. — Débouchés. — Concurrence.

Nous avons dit que les mines du quatrième et du cinquième groupe suffiraient largement à une production annuelle de 150 à 200.000 tonnes. Cette extraction pourra être atteinte dès la deuxième année d'exploitation; et si les travaux d'un second chemin houiller, concédé il y a quelques mois, qui doit réunir ce bassin de Belmez et Espiel à Cordoue, se font activement, les débouchés prendront ainsi un développement rapide et considérable; et il n'y aurait rien d'étonnant que, un an ou deux après l'ouverture de cette seconde ligne, l'ensemble du bassin produisît et écoulât de 300 à 400.000 tonnes.

Produits. — Nous prendrons dans les calculs suivants 50 réaux comme prix de revient de la tonne du tout venant sur le carreau des mines. C'est un maximum qui ne sera certainement pas dépassé dès que l'exploitation annuelle atteindra de 100 à 150.000 tonnes.

Les prix de vente sur le carreau des mines pourront être établis avec bénéfices comme suit :

Menu de. . . .	30 à 40 réaux la tonne,	suivant la qualité.
Demi-gros de. .	35 à 50 réaux la tonne.	—
Gros de.	45 à 60 réaux la tonne.	—

Les menus qui ne seront pas directement vendus au commerce devront être transformés en coke et en agglomérés.

Fabrication de coke. — En admettant un rendement moyen aux fours fermés de 60 p. 100, le prix de revient d'une tonne de coke aux pieds des fours, serait :

	réaux.
Houille : 1m,700 à 30 réaux la tonne	51
Main-d'œuvre	8
Entretien, amortissement des fours, divers	6
Total du prix de revient d'une tonne de coke non lavé.	65

Bien que les houilles du bassin ne contiennent pas une forte proportion de cendres (moins de 5/8 en moyenne), il serait fort avantageux de les laver avant de les enfourner ; le prix du coke serait à peine grevé de 6 à 8 réaux de plus par tonnes, mais la valeur commerciale du coke serait proportionnellement beaucoup plus grande. Le prix du coke lavé serait de 72 réaux environ.

Fabrication d'agglomérés. — Le prix de revient d'une tonne d'agglomérés serait :

	Réaux.		
Houille menue : 95 p. 100 à 30 réaux la tonne.	28.50	à	28,50
Brai-goudron : 5 à 6 p. 100 à 360 réaux la tonne	18,00	à	21,60
Personnel, mécanicien, etc.	5,00	à	6,00
Éclairage, graissage, etc.	1,00	à	1,50
Conservation et amortissement des bâtiments, machines, frais divers	3,00	à	4,00
Prix de revient d'une tonne d'agglomérés.	55,50	à	61,60

Prenons 60 réaux comme prix maximum d'une tonne d'agglomérés : la vente du coke et des agglomérés fournis par les diverses fabrications serait avantageuse aux prix suivants :

Coke non lavé	75 réaux la tonne.
Coke lavé	85 —
Agglomérés non lavés	70 —
Agglomérés lavés	80 —

Débouchés. Concurrence. — L'absence complète de toute voie de communication est une des causes principales qui ont mis obstacle, jusqu'à ces dernières années, à l'exploitation des houillères d'Espiel et Belmez. Lorsque le chemin de fer de Cordoue à Cadix fut ouvert, celui de Ciudad-Réal à la frontière de Portugal, qui passe à 63 kilomètres de Belmez concédé, le bassin houiller commença à attirer l'attention. Deux chemins houillers, allant, l'un de Belmez à Cordoue, l'autre de Belmez à Cabeza del Buey, pour se rejoindre à la ligne de Portugal, furent sollicités et concédés. Malheureusement, le bassin était partagé entre une multitude d'individus qui avaient des droits plus ou moins contestables à la propriété de quelque lambeau de terrain; en voyant le mouvement qui se prononçait en faveur du bassin, ils exhibèrent leurs vieux titres, pour la plupart périmés, prétendant les faire revivre, et ils sollicitèrent d'autres petits rectangles (*pertenencias*) (*) qui se superposaient. En résumé, il surgit tout d'un coup plus de deux mille demandes ou réclamations de concessions sur un terrain dont la superficie totale n'admettait à peine que 300 à 400 pertenencias. Les conséquences d'un pareil désordre furent que les grands capitalistes qui étaient disposés à prendre cette grande affaire en main, se tinrent à l'écart, et plus de six années furent complétement perdues en chicanes, en procès.

La compagnie la Fusion a cherché, dès le début, à réunir tous ces éléments épars; elle a dû lutter pendant plus de cinq ans contre des difficultés sans nombre, de toute nature, et au lieu de consacrer, comme elle l'espérait, ces années au développement de l'industrie minière du

(*) Les pertenencias ont { 500 mètres sur 300 pour les houillères et mines de fer. 300 mètres sur 200 pour les autres mines métalliques. }

bassin, elle les a employées, ainsi que des sommes considérables, à soutenir des procès et à vérifier l'authenticité des titres de propriété qu'elle avait entre les mains.

Cette longue période est à peu près terminée; les ingénieurs du gouvernement espagnol auront bientôt résolu le difficile problème de la délimitation de la propriété. Les travaux du chemin de fer de Belmez à Cordoue sont commencés; dans quelques mois le chemin de fer à Cabeza del Buey s'ouvrira, et le bassin d'Espiel et Belmez pourra envoyer ses nombreux produits en Portugal, sur la Méditerranée et dans le centre de l'Espagne.

Production, importation, consommation des combustibles minéraux en Espagne.

Avant l'époque où les chemins de fer commencèrent à se construire en Espagne, la consommation des combustibles minéraux y était insignifiante, la production des houillères à peu près nulle. Depuis 1850, la consommation a pris un développement assez considérable; mais les documents manquant, on est obligé de recourir aux renseignements particuliers pour se faire une idée approchée de cet accroissement.

La production, l'importation et la consommation des combustibles minéraux en Espagne peuvent être évalués approximativement de la façon suivante :

ANNÉES.	PRODUCTION.	IMPORTATION.	CONSOMMATION.
	tonnes.	tonnes.	
1850.	180.000	220.000	300.000
1858.	200.000	465.000	665.000
1860.	217.000	480.000	697.000
1861.	(1) 353.346	500.000	853.000
1862.	(2) 388.942	550.000	938.000
1863.	430.000	600.000	1.030.000

(1) et (2) — Productions fournies par les statistiques officielles des mines.

La production pourra atteindre, en 1865, 500.000 tonnes, et la consommation 1.200.000 tonnes environ. Cette faible production ferait supposer que l'Espagne manque de combustibles minéraux, si en regard ne se trouvait exprimé le chiffre de la consommation qui indique exactement aujourd'hui le degré du développement industriel d'une nation. Cette consommation totale 1.200.000 correspond à 77 kilogrammes par habitant, mais l'industrie des transports en absorbe environ 380.000, il reste donc pour la consommation industrielle et domestique 610.000 tonnes, soit moins de 40 kilogrammes par habitant; tandis qu'en France, en 1858, la consommation industrielle et domestique, non comprise celle des transports, s'élevait à 320 kilogrammes par habitant.

L'industrie n'existe donc pas encore en Espagne, et la plupart des immenses richesses que possède son sol sont restées inexploitées. Cependant depuis que les chemins de fer commencent à sillonner le pays, l'esprit industriel s'éveille, et l'Espagne étonnera un jour l'Europe dont elle est pour ainsi dire oubliée, par le développement rapide et considérable que prendra son industrie.

Nous n'avons pas ici l'intention d'énumérer toutes les ressources que possède l'Espagne, cela nous écarterait trop de notre sujet, nous voulions simplement signaler l'existence de grandes richesses encore vierges et qui ne peuvent plus rester longtemps sans être mises en exploitation.

De tous les bassins houillers que possède l'Espagne, celui d'Espiel et Belmez est l'un de ceux dont l'exploitation immédiate devient une nécessité absolue. Les chemins de fer et l'industrie de tout le midi de l'Espagne attendent ses combustibles : les mines de fer, de cuivre, de plomb, qu'il renferme, donneront lieu à l'établissement de nombreuses usines, dès que les voies ferrées sur Cabeza del Buey et Cordoue seront ouvertes.

Évaluation des débouchés. — Il sera question plus loin

de l'importance de ces mines métalliques; évaluons quelle est actuellement la consommation en combustibles sur les divers marchés où le bassin d'Espiel et Belmez pourra expédier ses produits, et nous examinerons ensuite si ce bassin se trouve dans de bonnes conditions pour substituer ses produits à ceux employés aujourd'hui.

1° La traction sur les lignes du midi de l'Espagne et du Portugal nécessite par an plus de 140.000 tonnes de houille qui proviennent en grande partie de l'Angleterre.

2° L'industrie métallurgique, dans la zone qu'embrassent ces chemins de fer, consomme de 30.000 à 40.000 tonnes de houille et coke.

La richesse en plomb du midi de l'Espagne est immense, il s'exploite annuellement plus de 250.000 tonnes de minerais de plomb métallique; ces usines sont en grand nombre, mais celles qui ne se trouvent pas sur les côtes ne peuvent employer la houille anglaise pour la réduction des minerais; elle leur reviendrait en moyenne, prise à un port quelconque du midi, à 160 réaux la tonne, prix auquel il faudrait ajouter les frais généralement assez élevés des transports aux usines mêmes : aussi le chauffage des fours se fait-il avec des broussailles. Lorsque le chemin de fer de Belmez à Cordoue sera ouvert, la plupart de ces usines auront un grand avantage à employer les produits du bassin houiller.

3° On peut enfin compter, pour le service de la marine et usines à gaz et petites industries, sur une consommation annuelle de 40 à 50.000 tonnes.

La consommation en combustibles minéraux s'élève aujourd'hui, dans le midi de l'Espagne, à un total minimum de 210 à 250.000 tonnes. Sur le littoral, elle est alimentée presque en totalité par les houilles anglaises, à Madrid, par les houilles du nord de l'Espagne et par les houilles anglaises.

Charbons anglais. — Les combustibles du bassin de Belmez pourront se substituer aux charbons anglais sur

toute la côte et à Madrid ; ils pourront être maîtres sur tous les marchés anglais, depuis Valence jusqu'à Lisbonne. Mais il faudra, pour atteindre ce but, que les exploitants se contentent d'un bénéfice raisonnable, et que les compagnies des chemins de fer établissent des tarifs spéciaux. Si ces compagnies devaient appliquer ceux qui leur sont concédés de 0,55 et 0,60 par tonne et kilomètre, elles réaliseraient sans doute, au commencement, des bénéfices assez sérieux sur les transports des combustibles qui seront obligés de passer par leurs lignes, mais elles paralyseraient le développement de l'exploitation du bassin, ainsi que des nombreuses industries qui végètent faute de charbon à des prix possibles, et par suite leur trafic ne s'accroîtrait que péniblement.

La compagnie des chemins de fer de Ciudad-Réal à Badajoz paraît disposée à transporter pour les grands parcours les houilles de Belmez à 0r,12 par tonne et kilomètre. Admettons que les autres compagnies adoptent le même tarif et voyons quels seront les prix de vente des combustibles du bassin aux points extrêmes, c'est-à-dire à Valence, Alicante, Carthagène, Malaga, Cadix, Lisbonne, Madrid et mettons en regard les prix actuels des houilles anglaises en ces différents points.

A Valence, le charbon anglais coûte sous palan 142 réaux la tonne, les droits de douane montent à 42r,50, les frais de débarquement, transports aux magasins ou à la gare, 6 réaux, soit en tout 190r,50 la tonne.

L'ensemble de ces frais porte sur les divers marchés la tonne du charbon anglais aux prix consignés dans la dernière colonne du tableau suivant :

MARCHÉS.	Distance de Belmez aux divers points.	Frais de transport de Belmez aux divers marchés	PRIX DES PRODUITS DE BELMEZ (LA TONNE).							PRIX des charbons anglais (la tonne).
			Menu.	Demi-gros.	Gros.	Coke non lavé.	Coke lavé.	Agglomérés non lavés.	Agglomérés lavés.	
		réaux.	réaux.	réaux.	réaux.	réaux.	réaux.	réaux.	réaux.	réaux.
Valence.....	696	83,12	118,12	128,12	138,12	158,12	168,12	153,12	163,12	190,50
Alicante.....	656	78,72	113,70	123,70	133,70	153,70	163,70	148,70	158,70	183,50
Carthagène...	727	87,24	122,20	132,20	142,20	162,20	172,20	157,20	167,20	164,50
Malaga......	272	32,64	67,60	77,60	87,60	107,60	117,60	102,60	112,60	159,50
Cadix.......	377	45,25	80,20	90,20	100,20	120,20	130,20	115,20	125,20	150,50
Lisbonne....	516	61,92	96,90	106,90	116,90	136,90	146,90	131,90	141,90	133,50
Madrid.....	495	59,40	94,40	104,40	114,40	134,40	144,40	129,40	139,40	238,10

Le prix actuel des charbons anglais à Madrid est bien supérieur à 238r,10 la tonne, le commerce le paye jusqu'à 320 et 340 réaux à cause des tarifs excessifs des chemins de fer.

D'après le tableau précédent on voit que les combustibles de Belmez chasseront les houilles anglaises du midi de l'Espagne et à plus forte raison de Madrid; et si la ligne de Ciudad-réal à Badajoz s'entend avec les compagnies de Lisboá pour réduire les tarifs à 0r,12, ils seront également maîtres dans tout le Portugal.

Bassin de Villanueva del Rio.—A Séville, Cadix, les produits de Belmez se rencontreront en concurrence avec les houilles du petit bassin de *Villanueva del Rio* situé entre Séville et Cordoue à 12 kilomètres environ de la station de Tocina. Ce bassin a très-peu de développement, sa superficie est de 15 à 16 kilomètres carrés; il se trouve dans des conditions d'exploitation peu avantageuses; les 4 couches reconnues jusqu'à présent sont peu puissantes, elles sont de 1 mètre à 1m.50, une seule atteint 3 mètres de puissance, leur inclinaison est assez forte, ce qui nécessite dès le début de l'exploitation des installations coûteuses de puits, machines d'épuisement, etc.

Les houilles appartiennent à la classe des houilles maréchales ou houilles de forge; elles sont peu compactes, donnent une forte proportion de menu, se boursouflent par calcination et produisent un coke léger et friable qui serait d'un mauvais emploi pour la métallurgie et les grilles; elles conviennent spécialement pour les forges; leur emploi sera assez restreint, surtout en présence sur les marchés de diverses houilles répondant mieux par leur nature aux exigences des différentes consommations spéciales.

Il est en outre peu probable que la production de ce petit bassin puisse dépasser avant longtemps de 20 à 25,000 tonnes; il n'enlèverait donc aux produits du bassin de Belmez que des débouchés insignifiants, même à Séville et à Cadix.

Bassin de Vieille-Castille. — A Madrid, les combustibles de Belmez se trouveront aussi en concurrence avec ceux du bassin houiller de la *Vieille-Castille*. Ce dernier traverse de l'est à l'ouest la partie septentrionale des provinces de Palencia et de Léon sur une longueur de près de 150 kilomètres. La partie est de ce bassin est seule exploitée par le Crédit Mobilier Espagnol à Barruclo, la Santa Esperanza à Orbo et la compagnie générale des Mines à Valle. Les mines du Crédit mobilier sont de beaucoup les plus importantes; leur exploitation a fourni en 1864 57,021 tonnes. Ensemble les trois compagnies peuvent produire au plus, en activant les travaux, de 75 à 80,000 tonnes de houilles. Ces houilles alimentent les lignes du nord, d'Alar à Santander, et elles ne fournissent au commerce ou à l'industrie que des quantités insignifiantes.

Les conditions d'exploitation de ces mines sont ou plutôt ont été assez avantageuses : les sept couches exploitées n'ont, il est vrai, qu'une puissance moyenne de $0^m,80$ et leur pendage est assez fort, de $0^m,70$ à $0^m,75$, mais le terrain étant montagneux, on a pu attaquer les couches au niveau des vallées par des galeries en direction, et l'on a eu jusqu'à

80 et 100 mètres de hauteur de charbon à prendre, sans avoir de puits d'extraction à ouvrir. Ces conditions spécialement avantageuses devaient rendre l'exploitation assez économique, mais actuellement, aux abords du chemin de fer, les parties des couches qui se trouvent au-dessus du niveau des vallées sont extraites, et il faut faire des puits coûteux pour extraire les houilles qui sont au-dessous de ce niveau.

Les houilles sont malheureusement assez impures, certaines couches donnent jusqu'à 15 et 18 p. o/o de cendres, et l'on ne peut guère les amener par les machines à laver à tenir moins de 8 et 9 p. o/o; elles sont en outre très-friables; il faut par suite les transformer presque entièrement en coke et agglomérés.

Quant au prix de revient total d'une tonne extraite, il s'élève en moyenne de 38 à 40 réaux, chiffre fort élevé, mais qui par la suite pourrait se trouver réduit à 32 ou 34 réaux.

Ces mines alimentent, comme nous l'avons dit précédemment, les chemins du nord de l'Espagne, les rares industries de la Vieille-Castille et fournissent de 15 à 20 000 tonnes à la consommation de Madrid.

Examinons dans quelle situation les produits des houillères de la Castille se trouveront, par rapport à ceux du bassin d'Espiel et Belmez sur le marché de Madrid.

Elles sont à 413 kilomètres de Madrid tandis que celles de Belmez en sont à 495, soit une différence de 82 kilomètres en faveur des premières, ce qui se traduira par une économie de transports de 9 à 10 réaux au moins par tonne en leur faveur. Cette différence disparaîtra, si l'on fait plus tard comme il en a déjà été question une ligne directe de Cordoue à Madrid, mais en attendant l'écart entre les prix de revient dans les deux bassins compensera à peu près cette petite différence dans les prix de transports; on peut donc dire d'une manière positive que les produits de Belmez et ceux

du bassin de la Vieille-Castille pourront arriver à Madrid dans des conditions de prix de revient identiques.

Les consommateurs de Madrid n'auront donc pour se fixer dans leur choix qu'à apprécier les qualités respectives des produits des deux bassins.

II. Mines métalliques de la province de Cordoue.

Mines de fer.

La province de Cordoue possède plusieurs groupes importants de mines de fer qui seront exploitées et donneront lieu à l'établissement d'une ou plusieurs usines dès que le bassin houiller commencera à être mis en valeur.

Les groupes principaux au nombre de quatre, sont :

1° Le groupe des mines de fer de Belmez ;
2° — d'Espiel ;
3° — de Fuente Obejuna ;
4° — de Villafranca.

1° Mines de fer du district de Belmez.

Ces mines situées à 15 kilomètres environ au S.-S.-O. de Belmez se trouvent dans le terrain silurien métamorphosé par de nombreuses apparitions de porphyres. Les gisements se présentent sous la forme de filons de 1 mètre à $1^{m}.50$ de puissance. Ce sont des filons de contact assez riches ; leur direction est N.-S. et leur inclinaison verticale.

Le minerai est du fer oligiste de belle qualité, à gangue siliceuse ; il renferme de 55 à 60 p. o/o de fer métallique, et rendrait aux hauts fourneaux de 45 à 50 p. o/o.

Ces mines, au nombre de 5, appartiennent les unes à la compagnie Parent et Schaken, les autres à la compagnie *la Fusion*.

Dans l'état actuel des travaux qui consistent en quelques tranchées, il est impossible de fixer même approximativement la richesse des gisements ; il y a toutefois lieu d'espérer que

l'ensemble de ces mines fournirait au minimum de 10 à 12,000 tonnes de minerai par an. Ces minerais ne devraient pas être traités seuls; il y aurait grand avantage à les mélanger avec ceux du groupe suivant.

Un chemin de fer de 13 kilomètres pourrait relier économiquement ces mines à un point se trouvant dans de bonnes conditions pour l'établissement des usines, situé au N.-N.-E. sur les bords du Guadiato.

2° *Mines de fer du district d'Espiel.*

Nous comprenons sous ce titre les couches de fer carbonaté lithoïde qui se trouvent intercalées dans le terrain carbonifère avec la houille. On rencontre ces couches en divers points du bassin; elles affectent la forme dite structure en chapelet. C'est surtout au N.-N.-O et au S.-S.-E. d'Espiel que ces couches se suivent aux affleurements avec plus de régularité sur une plus grande longueur; on en distingue 3 ou 4, elles ont en général une puissance de 1 mètre, leur direction et leur inclinaison sont naturellement celles des autres dépôts sédimentaires environnants.

Ces minerais ne sont pas très-riches; ils renferment au plus 35 p. 100 de fer et ne rendraient au traitement que 30 p. 100.

La composition des gangues est très-variable; en certains endroits elles sont calcaires; un peu plus loin elles deviennent argileuses et siliceuses.

Mélangés avec les minerais oligistes, on pourrait avoir des lits de fusion fort avantageux avec rendement de 40 p. 100.

Quant à la quantité de minerai de fer lithoïde que renferme le bassin, il n'est pas possible de la calculer; il n'y a aucun travail fait sur ces affleurements, mais il paraît certain que l'abondance des gisements suffirait à une extraction quelconque.

3° Mines de fer du district de Fuente Obejuna.

Nous avons conservé le nom des mines de fer à une dizaine de pertenencias qui ont été sollicitées et concédées comme telles, parce que c'est encore ainsi qu'on les désigne aujourd'hui. Quelques petits filets d'eaux ferrugineuses ont couru dans les interstices de grès, en laissant de légères traces d'oxyde de fer; cela a suffi pour faire croire à l'existence de véritables gisements. On a ouvert quelques tranchées qui n'ont absolument rien recoupé; il faudrait en tout cas entreprendre des recherches plus sérieuses que celles qui ont été faites.

4° Mines de fer du district de Villafranca.

A 25 kilomètres environ à l'ouest de Cordoue, et à 3 kilomètres du chemin de fer de Cordoue à Madrid, se trouve le village de Villafranca. Les mines de fer sont situées à 800 mètres au N.-O. de ce village. Bien que les travaux faits ne soient pas très-développés, il est facile de voir que les gisements sont importants et qu'ils se trouvent dans de bonnes conditions à tous les points de vue.

Le minerai est de l'hématite rouge, à gangue argilo-calcaire; il renferme 52 p. 100 de fer en moyenne.

Les essais pour fer de quelques échantillons provenant de ces mines nous ont donné les résultats suivants :

Mines.	Teneur en fer.
Rica.	54,63 p. 100
Buenavista.	49,67 —
Magna.	55,52 —
Incomparable.	48,72 —

Les couches se trouvent dans le terrain jurassique; elles se présentent avec une très-faible inclinaison, sauf celle de la mine de Magna, qui est verticale; la direction générale

du terrain et des couches est à peu près N.-S.; la puissance atteint 4 mètres dans la mine la Rica.

Ces mines, qui appartiennent à la compagnie « la Fusion, » ne se composent que de huit pertenencias, mais les couches doivent se prolonger bien au delà des terrains concédés. La régularité des couches, l'aspect général du terrain, tout semble annoncer un gisement important.

Ces mines, mises en exploitation, donneraient au moins 35.000 tonnes de minerai par an.

Il n'y aurait pas avantage à traiter ces minerais riches sur place; il faudrait les expédier dans le centre du bassin houiller, aux usines qui seraient établies près de Belmez. Lorsque le chemin de fer de Cordoue à Belmez sera ouvert, ces minerais n'auront à supporter que 110 kilomètres de transports; tous frais compris, exploitation, transports, frais généraux, etc., ils ne reviendront pas, rendus aux usines, à 50 réaux la tonne, et leur mélange avec les minerais provenant des autres groupes donnera de très-bons résultats.

Nous ne parlerons pas des autres mines de fer situées dans les communes de Poro-Blanco, Alca Racejas, Villanueva del Rey; elles rentrent toutes plus ou moins dans la catégorie des mines de Fuente Obejuna.

Hauts fourneaux. — Usines.

L'exploitation des houillères, des mines de fer, et la fabrication de la fonte et des fers sont sans contredit les industries qui ont le plus d'avenir en Espagne. Nous avons vu précédemment quelle pouvait être la production des houillères de Belmez, et quels débouchés étaient dès à présent ouverts en dehors du bassin même; examinons maintenant quel peut être l'avenir de la fabrication de la fonte et des fers dans ce bassin.

Production, consommation des fers, fontes, aciers en Espagne. — L'Espagne possède aujourd'hui près de 5.000 kilomètres de voies ferrées en exploitation ; tout le matériel fixe, rails, coussinets, éclisses, ainsi que le matériel mobile de ces lignes a été fourni par l'étranger. Deux autres mille kilomètres sont concédés et en construction. Les nouvelles lignes vont nécessiter de 200 à 250.000 tonnes de fers et fontes. L'entretien de celles en exploitation nécessite annuellement de 30 à 32.000 tonnes, et il n'y a pas dans toute l'Espagne une seule usine s'occupant de la fabrication du matériel des chemins de fer.

La production de l'Espagne en fontes, fers et aciers, a été la suivante pendant les années 1861 et 1862 :

ANNÉES.	PRODUCTION EN TONNES.		
	Fontes.	Fers.	Aciers.
1861.	34.532	32.816	444.000
1862.	48.106	41.068	162.000

Pour connaître approximativement la consommation, il faut ajouter aux chiffres précédents les importations. Or l'ensemble des fontes, fers, tôles, aciers bruts et ouvrés, outils, machines, etc., importés en 1862 pour la consommation du pays a été de 50 à 55.000 tonnes. Pour les chemins de fer et les travaux publics, l'Espagne a en outre reçu de l'étranger, en fontes, fers, tôles, aciers, outillage, etc., de 55 à 60.000 tonnes et en machines, pièces de machines, ponts métalliques, etc., pour une valeur de 25 millions de réaux environ, soit une importation totale de 120 à 130.000 tonnes, ou le triple de la production.

La consommation totale de l'Espagne, en fontes, fers, tôles, aciers sous toutes les formes, a donc été, en 1862,

de 170.000 à 180.000 tonnes, soit la sixième partie environ de ce qu'elle était en France.

En rapprochant les chiffres de la production de ceux de la consommation, il s'ensuit que de grandes usines à fers qui s'installeraient en Espagne, dans des conditions ordinaires, auraient des débouchés immenses et immédiats assurés.

Considérations économiques. — Examinons dans quelles conditions économiques se trouveraient celles que l'on pourrait établir dans le bassin houiller d'Espiel et Belmez.

Matières premières.

1° *Minerai de fer.* — Le tableau suivant résume les quantités minimum de minerais que pourraient fournir les divers districts de mines de fer, le prix de revient d'une tonne, tous frais compris, rendue à l'usine et la teneur moyenne de ces minerais.

MINES DE FER. — Districts.	EXTRACTION minimum annuelle.	PRIX de revient total d'une tonne de minerai.	RENDEMENT industriel des minerais.
		Réaux.	Pour 100.
1° De Belmez	10.000	40	48
2° D'Espiel	60.000	25	30
3° De Villafranca	25.000	50	46

Les extractions indiquées dans le tableau précédent sont des minimum que l'on peut être certain d'atteindre, après un an à dix-huit mois de travaux préparatoires; le district d'Espiel en particulier peut fournir une extraction presque indéfinie, qui ne serait limitée que par les besoins de la consommation.

En faisant des mélanges de ces divers minerais, de façon

à avoir des lits de fusion rendant de 35 à 40 p. 100 aux hauts fourneaux, la tonne de minerai reviendrait en moyenne de 32 à 35 réaux, et l'ensemble de ces mines alimenterait six hauts fourneaux au moins.

2° *Castines.* — Les divers calcaires du bassin seraient employés comme castines. Leur prix de revient serait, aux usines, de 8 réaux la tonne.

3° *Le coke* métallurgique lavé coûterait 100 réaux au plus la tonne.

4° *Produits réfractaires.* — Le bassin possède des dépôts importants de sables et de terres réfractaires avec lesquels on a déjà fait des briques; en apportant quelques soins à cette fabrication, on aurait à des prix assez bas de bons matériaux pour les hauts fourneaux, les fours, etc.

Les données précédentes permettent d'établir approximativement le prix de revient d'une tonne de fonte d'affinage de la façon suivante :

			réaux.	réaux.
Matières premières.	Minerai ...	2.700 kilog. à 31 réaux la tonne....	90,80	230,80
	Castine....	500 kilog. à 8 réaux la tonne....	4,00	
	Coke......	1.300 kilog. à 100 réaux la tonne....	100,00	
	Houille....	100 kilog. à 50 réaux la tonne....	5,00	
Frais généraux.	Main-d'œuvre totale....................		30,00	96,00
	Entretien, réparations....................		16,00	
	Direction, surveillance, bureau, etc............		20,00	
	Fonds de roulement de six mois............		12,00	
	Capital d'amortissement, 1.200.000 réaux; intérêt et amortissement à 15 p. 100..............		18,00	
Total du prix de revient d'une tonne de fonte d'affinage....				326,80

On peut admettre 340 réaux comme prix de revient maximum, il suffit de mettre les prix de revient des produits que donneraient les usines sidérurgiques du bassin en regard des prix actuels des fontes et fers à Madrid pour se faire une idée des bénéfices considérables que ces usines pourraient réaliser.

PRIX DE REVIENT aux usines du bassin.	La tonne. réaux.	PRIX COURANTS ACTUELS à Madrid.	La tonne réaux.
Fonte d'affinage	340	Fonte d'affinage	800 à 1.000
Fonte de moulage, 1re classe	450	Fonte de moulage	1.000 à 1.200
Fonte de moulage, 2e classe	400	Pièces moulées les plus simples	2.100
Fers puddlés	500 à 550	Pièces moulées ornementées	2.200 à 5.000
Gros fers marchands	720 à 760	Fers marchands les plus communs	1.800
Rails	750 à 800	Fers ronds et carrés	1.360 à 2.400
Grosses tôles	800	Grosses tôles	2.800 à 2.900
Tôles moyennes	850	Tôles moyennes	3.100 à 3.200
Tôles minces	920	Tôles minces	3.400 à 3.500
Tôles très-minces	980 à 1.000		

Les fontes, fers et aciers qui se consomment en Espagne viennent pour la plupart d'Angleterre; les petites pièces en fer ou fonte moulée proviennent des provinces du N.-E. de l'Espagne, des Asturies ou de Malaga. Aucune usine espagnole n'est montée pour la construction des machines, des ponts ou pour la fabrication des rails et des fortes pièces en fer. Au N.-E. dans la Biscaye, la fabrication se fait principalement par la méthode catalane. Dans les Asturies et à Malaga, il y a bien quelques hauts fourneaux, mais la plupart marchent au combustible végétal, ce qui, joint aux besoins de la consommation, explique les prix excessifs consignés ci-dessus.

Les usines de Belmez, fabriquant au coke à peu près dans les mêmes conditions économiques que les usines de la Loire, placeraient fort avantageusement tous leurs produits dans le midi et dans le centre de l'Espagne.

Mines de plomb et de cuivre.

La province de Cordoue possède de nombreuses mines de plomb situées dans les terrains granitiques et les schistes siluriens au N.-O. et au S. du bassin houiller.

Les groupes principaux de ces mines se trouvent dans les communes d'Hornachuelos, Montero, Villanueva del Duque, Fuente Obejuna, etc.

Mines d'Hornachuelos. — A 41 kilomètres de Cordoue sur la ligne de Séville, on rencontre la station d'Hornachuelos. Les mines sont à 24 kilomètres environ au nord de la station, dans le terrain silurien, formant un groupe d'une trentaine de pertenencias; elles ont été exploitées anciennement, les vieux travaux éboulés ont dû être assez considérables, à en juger par la grande quantité de déblais que l'on rencontre à la surface : comme travaux récents, il n'y a que quelques petites tranchées qui ne permettent qu'imparfaitement l'étude des gisements.

La mine qui paraît la plus riche est la San José; trois ou quatre filons y passent en direction S.-E. N.-O. avec une inclinaison voisine de la verticale; la galène est argentifère, elle se présente dans les filons sous forme de veinules; la richesse moyenne des minerais est de 55 à 60 p. 100 de plomb. Parmi les déblais on trouve de la galène en assez grande quantité. Les mines de ce groupe paraissent avoir un certain avenir, mais l'état des travaux ne permet pas de donner à cet égard des renseignements même approchés.

Mines de Montoro. — Ces mines sont situées au milieu des montagnes à 50 kilomètres environ au N.-E. de Cordoue. Les filons se trouvent dans un terrain granitique analogue à celui des fameuses mines de Linares. Dans ce groupe de mines, on observe deux filons ayant des allures différentes : l'un se dirige du S.-E. au N.-O. et se prolonge sur plusieurs kilomètres; il a une puissance de 1 mètre environ; son inclinaison est de 70 à 80 degrés; il est formé par des veines de galène intercalées dans du quartz et du calcaire métamorphique; on trouve du carbonate de plomb aux affleurements.

L'autre filon, croiseur, se dirige de l'est à l'ouest et va

recouper le premier dans une mine appelée la Princesa.

Ces filons se retrouvent dans plusieurs mines, la San Francisco, San Andrès, la Estrella, la Soledad, etc.

Les mines de Villanueva del Duque et de Fuente Obejuna se trouvent dans le terrain silurien ; il n'y a pas eu de travaux faits, il est donc impossible de savoir ce qu'elles peuvent valoir.

La propriété d'un certain nombre de ces mines et de quelques autres gisements de cuivre n'est pas complétement déterminée; elles ont été et sont encore l'objet de nombreux procès. Lorsque ce problème de la propriété aura reçu une solution définitive, on pourra faire des reconnaissances dans les anciens travaux, et se rendre compte de la valeur réelle des gisements. Il est toutefois fort probable que plusieurs de ces mines pourront être exploitées avantageusement et que leur ensemble produira des minerais en quantité suffisante pour donner naissance, dans le voisinage des houillères, à une importante industrie des plombs.

Résumé et conclusions.

La province de Cordoue possède donc des richesses minérales importantes concentrées dans le bassin houiller d'Espiel et Belmez. Ce bassin est certainement appelé à devenir un grand centre industriel; ses combustibles pourront, si les compagnies de chemins de fer appliquent des tarifs modérés, alimenter tout le midi de l'Espagne et le Portugal; ses usines sidérurgiques fourniront le matériel d'entretien d'une partie des lignes qui sillonnent le pays, puis un certain nombre d'autres industries locales, plus ou moins importantes, se créeront successivement. Mais ce grand mouvement industriel ne commencera à se produire qu'à partir du jour où toute la propriété minière sera parfaitement établie sur des bases nettes et définitives : le bassin sera alors complétement purgé des nombreux petits

spéculateurs qui depuis longtemps neutralisent, à l'ombre de la loi des mines, les efforts que font quelques compagnies pour fonder des entreprises sérieuses, et empêchent les grands capitaux de venir en féconder les richesses.

Les capitalistes espagnols qui jusqu'à présent se sont occupés des affaires de mines, ont mis surtout quelques capitaux dans les exploitations métalliques de plomb ou d'argent; mais le plus souvent ils ont été trompés : ils ont fourni des fonds pour des mines imaginaires ou pour des travaux fictifs; quelques-uns, et c'est l'infime minorité, ont au contraire augmenté dans d'assez fortes proportions les sommes qu'ils avaient engagées; il en est résulté que l'industrie des mines est généralement considérée en Espagne comme une duperie ou tout au moins comme une loterie. Quant à cette grande industrie basée sur l'étude consciencieuse des gisements et leur exploitation économique, elle est à peu près inconnue.

Le pays s'est presque entièrement adonné jusqu'à présent au commerce, à la spéculation et à l'usure, et si quelques affaires de charbonnages ont été tentées, elles ont eu pour but la spéculation sur les titres ou la recherche d'acheteurs. Quant au petit nombre de houillères qui ont eu un commencement d'exploitation sur des gisements quelquefois très-importants, on a dû arrêter dès le principe les travaux faute de capitaux suffisants et le plus souvent à cause de gaspillages plus ou moins volontaire dans les dépenses.

Si des compagnies sérieuses composées de véritables industriels se formaient pour mettre en exploitation les immenses richesses que recèle le sol de l'Espagne, elles réaliseraient des bénéfices importants; ce serait pour les capitalistes espagnols une grande question d'intérêt national, et pour les capitalistes français et belges le plus sûr moyen de sauvegarder les sommes immenses qu'ils ont versées dans les chemins de fer de ce pays et qui restent improductives parce que l'industrie est encore à créer en Espagne.

RAPPORT

SUR L'EXPLOSION D'UNE CHAUDIÈRE A VAPEUR A SAINT-OMER (PAS-DE-CALAIS).

Par M. COINCE, ingénieur des mines.

Dans la matinée du 13 septembre dernier, l'un des bouilleurs de la chaudière desservant la distillerie de grains du sieur Tailliez, à Saint-Omer, a fait explosion, et le chauffeur Laurent (Victor) a été atteint de graves brûlures auxquelles il succombait quelques heures plus tard.

Le soir même de ce jour, M. le préfet du Pas-de-Calais nous transmettait une dépêche télégraphique à lui adressée par M. le sous-préfet de Saint-Omer, au sujet de cet accident. Obligé de nous rendre le lendemain dans une mine, nous avons envoyé M. Cœuilte, garde-mines, qui visita, le 14 septembre au matin, l'usine du sieur Tailliez. Par mesure de prudence, M. Deschamps de Pas, ingénieur des ponts et chaussées à Saint-Omer (que M. le sous-préfet avait appelé aussitôt l'événement), avait fait abattre la petite toiture du local de la chaudière, toiture entièrement démantelée; il avait recommandé en même temps de laisser tout le reste en place jusqu'à notre arrivée. M. Cœuilte continua la même recommandation et leva le plan des lieux. Le 15, nous avons fait dégager l'avant-foyer ou cave du chauffeur de tous les décombres qui l'obstruaient, et nous avons pu pénétrer sous la chaudière pour en examiner les diverses parties et étudier la déchirure du bouilleur. Nous avons opéré diverses constatations et interrogé le sieur Tailliez;

ainsi que les ouvriers présents au moment de l'accident. Nous avons èu d'ailleurs communication des quelques renseignements que M. le commissaire de police avait pu obtenir du malheureux Lambert. De notre enquête résulte les faits suivants.

Circonstances dans lesquelles s'est produite l'explosion. — Le 13 septembre, vers dix heures et demie du matin, le chauffeur Lambert remarque l'inflammation de la paille entourant le tuyau de prise de vapeur; il en fait part au premier ouvrier de la distillerie, Grébert, qui lui demande si l'eau ne manque point. Lambert répond qu'il y en a suffisamment et que le niveau est à son état normal. Grébert constate lui-même que la paille se carbonise, et dit à Lambert de la couper afin d'examiner le tuyau; en même temps il envoie prévenir le sieur Tailliez, occupé en ce moment hors de l'usine. Douchet, autre ouvrier de la distillerie, pénètre, sur ces entrefaites, dans le local de la chaudière; enlevant des morceaux de fer qui surchargeaient le contre-poids du sifflet d'alarme et le rendaient muet, il entend ce dernier siffler d'une manière très-nette. Il le fait observer à Lambert, mais n'ayant pas qualité pour insister, il retourne à son travail. Vers onze heures et demie, ce même Douchet passant près de la pompe d'alimentation, la fait marcher; il est aperçu par Lambert, qui arrête la pompe. Au bout d'un quart d'heure, Lambert, qui venait de se rendre dans la chambre de la machine pour consulter le manomètre, crie à Grébert, alors occupé au premier étage de la distillerie : « C'est étonnant, tout à l'heure le mano- « mètre marquait 4 1/2; il ne marque plus que 3 1/2. » Grébert lui répond : « Tu as sans doute alimenté. » Lambert le nie et se dirige vers le foyer de la chaudière. A peine y était-il arrivé, qu'une première explosion formidable se fait entendre, suivie aussitôt d'une seconde détonation. Grébert, qui descendait du premier étage et atteignait la

partie du sol de l'atelier traversée par le conduit de fumée, se trouve enveloppé dans un nuage de poussière. Revenu de sa stupeur, il s'élance vers le foyer, où il se rencontre avec Douchet. Ils y aperçoivent le malheureux Lambert appelant au secours, et gisant en A (Pl. X, *fig.* 3) à moitié recouvert par des décombres; ils le dégagent rapidement. Le sieur Tailliez, qui rentrait chez lui à l'instant de l'explosion, accourt également du côté de la chaudière et fait immédiatement transporter Lambert à l'hôpital voisin de l'usine. Lambert avait la région du ventre, la poitrine et les bras affreusement brûlés et présentait en outre diverses contusions dues au choc de briques. Vers sept heures du soir, il succombait aux suites des brûlures.

Dégâts causés par l'explosion.— La chaudière n'ayant pas bougé, les dégâts matériels n'ont pas été très-considérables. La toiture légère qui formait appentis au-dessus du générateur s'est brisée, et les restes en ont été abattus aussitôt par mesure de prudence. Le petit mur supportant cet appentis s'est écroulé dans le voisinage du foyer; la partie supérieure du massif en maçonnerie contenant la chaudière était plus ou moins disloquée, surtout vers l'avant du fourneau. A l'arrière, la maçonnerie était simplement fendillée ou soulevée au droit des carneaux. Le conduit de fumée qui se dirigeait vers la cheminée en traversant presqu'au niveau du sol l'un des ateliers de la distillerie était découvert sur une certaine étendue, à partir de son origine. (Pour tous ces détails, voir les *fig.* 1 à 3.)

La plaque du foyer est restée en place; seul, le premier support du bouilleur de gauche (situé au-dessous de la déchirure) a été chassé hors de son épaulement. Les barreaux de la grille ont été simplement rabattus dans le sens indiqué sur la *fig.* 1, en même temps qu'il y avait projection de charbons et d'escarbilles en ignition vers le haut de l'avant-foyer. Ces débris passant à travers l'ouverture B furent

projetés jusque sous un hangar situé au fond de la cour. et faillirent y blesser l'ouvrier Magnien.

État de la chaudière et des appareils de sûreté avant l'explosion. — Le générateur qui a fait explosion se compose d'une chaudière cylindrique en tôle à fonds hémisphériques et de deux bouilleurs également en tôle; il présente les données ci-après :

	Longueur. mètres.	Diamètre. mètres.	Épaisseur de la tôle.
Chaudière. . .	10,00	1,40	$0^m,013$ en dessus, $0^m,010$ en dessous.
Bouilleurs. . .	10,50	0,70	$0^m,010$.

Surface de chauffe totale, Foyer monté à carneaux. } 65 mètres quarrés.

		mètres cubes.	
Capacité totale.	Chaudière. . .	14,674	$22^{mc},754$.
	Bouilleur. . .	4,040	
	Bouilleur. . .	4,040	

Numéro du timbre. . . . . . . 5 atm.
Catégorie. . . . . 1re.

D'après les renseignements fournis par M. l'ingénieur des mines de Lille, cette chaudière, de provenance anglaise, fut établie en 1843 dans la filature du sieur Dikson, à Dunkerque. Ses deux bouilleurs actuels furent adaptés antérieurement à 1859 dans les ateliers du sieur Fontaine, constructeur à Lille, qui racheta plus tard cette chaudière et la vendit, en 1865, au sieur Tailliez. L'épreuve prescrite en pareil cas par le nouveau règlement fut opérée le 7 avril 1865 chez le sieur Fontaine, par les soins de M. l'ingénieur de Lille (*). Le sieur Tailliez adressait, de son côté, le 23 août 1865, sa déclaration à M. le préfet du Pas-de-Calais. Les *fig.* 1 et 2 montrent d'ailleurs que l'installation de

(*) Dans le procès-verbal d'épreuve M. Leverrier signalait déjà la diminuation d'épaisseur des tôles du dessous de la chaudière; le nouveau règlement laissant toute liberté aux industriels pour l'épaisseur du métal et l'explosion ne s'étant pas d'ailleurs produite dans cette partie de la chaudière, il n'y a pas lieu d'insister.

la chaudière satisfait, pour les conditions d'emplacement, aux prescriptions du décret impérial du 25 janvier 1865.

La chaudière est munie d'un manomètre métallique, de deux soupapes de sûreté, d'un flotteur ordinaire et d'un sifflet d'alarme, tous deux réglés d'une manière suffisante; elle ne portait pas (*) le tube indicateur du niveau de l'eau prescrit par le nouveau règlement (art. 9). Cette contravention n'est pas la seule que nous ayons dû relever; l'état des autres appareils de sûreté laissait à désirer. Le jeu du sifflet d'alarme était paralysé par l'addition, sur le contrepoids, de morceaux de fer que nous avons retrouvés à côté du sifflet. Le flotteur ordinaire n'avait pas une mobilité suffisante; la tige glissait à frottement dur, et il nous a du reste été dit que peu de jours avant l'accident, Lambert avait, pour aveugler la fuite de vapeur, garni de chanvre la sortie de la tige (**).

Le manomètre avait sa graduation faussée par une cause quelconque, et l'aiguille indicatrice était en retard d'une atmosphère et demie environ. On aurait pu supposer que cette détérioration s'était produite au moment de l'explosion, lors d'une surélévation brusque de pression qui aurait faussé le mécanisme. Mais ce retard de l'aiguille devait exister depuis quelque temps; car il nous donne seul l'explication du fait suivant : il nous était affirmé de la manière la plus positive par le sieur Tailliez et par ses ouvriers, que la pression ne dépassait jamais 4 atmos. 1/2, et qu'à ce degré les soupapes laissaient échapper la vapeur, surtout celle située à l'extrémité postérieure de la chaudière; aussi avait-on chargé cette dernière d'un poids additionnel de 12 kilo-

(*) Le sieur Tailliez s'est du reste empressé de faire adopter pareil tube, ainsi que nous l'avons constaté dans une visite postérieure.

(**) C'est là l'inconvénient reproché depuis longtemps à cet appareil; nous avons souvent observé dans nos visites d'usines qu'on n'obtient une sensibilité *assurée* du flotteur ordinaire qu'en se résignant à une certaine fuite de vapeur.

grammes, qui l'avait réduite au repos. D'un autre côté, la soupape de tête nous offrait déjà une *surcharge* notable. Voici d'ailleurs les éléments du calcul fournis par cette soupape :

Diamètre de la soupape. . .	mèt. 00,11 (*)
Largeur de la zone de contact.	0,0015
Section de l'orifice.	cent. quar. 95,0300
Pression équivalente à une atm. sur cet orifice. . . .	kil. 98,1660

Longueur du grand bras de levier.	$1^m,00$
Longueur du petit bras de levier.	$0^m,10$
Poids suspendu à l'extrémité du levier	$52^k,50$
Poids de la soupape.	$2^k,50$
Poids du levier.	$4^k,50$
Distance du centre de gravité du levier à son axe de rotation. .	$0^m,50$
Charge du levier sur la tête de la soupape.	$22^k,50$

La charge totale exercée sur l'orifice de la soupape était donc de $52,5 + 22,5 + 2,5 = 550$ kilogrammes, correspondant à une pression effective de $\frac{550}{98,166} = 5^{atm},6$. D'autre part, l'expérience indique que presque toujours les soupapes, même bien réglées, commencent à souffler à une *demi-atmosphère* au-dessous de la pression maximum pour laquelle on les a établies. Dans l'espèce, la charge de la soupape était donc telle, qu'elle devait *seulement* laisser échapper de la vapeur lorsque celle-ci atteignait une tension effective de $5^{atm}.,1$ ou une tension *absolue* de $6^{atm}.,1$, avec un retard de 1 atm. 1/2. On comprend qu'alors le manomètre marquât 4 atm. 1/2. Quant à l'autre soupape, celle de l'arrière, l'orifice et le levier sont les mêmes; le poids suspendu à l'extrémité était inférieur de 1 kilogramme, et c'est cette infériorité qu'on avait rachetée et *au delà*,

(*) En prenant pour guide l'ancienne formule réglementaire qui indiquait pour la surface de chauffe et le numéro du timbre actuels un diamètre de $0^m,098$, les dimensions des soupapes étaient satisfaisantes.

en mettant un poids de 12 kilogrammes à *mi-longueur* du levier, ce qui faisait correspondre à la valeur de 6^{at},6 la tension absolue de vapeur à laquelle cette soupape aurait commencé à fonctionner (si la première n'avait joué déjà).

Tout en relevant ces diverses contraventions, nous devons dire que le sieur Tailliez nous a déclaré avoir fait visiter par un mécanicien les appareils de sûreté de sa chaudière lors de réparations exécutées à la machine, six semaines avant l'accident. Le sieur Tailliez croyait ainsi pouvoir compter sur leur bon fonctionnement. Il est d'ailleurs important d'observer que l'existence de ces contraventions n'a pas amené le triste accident du 13 septembre dont nous indiquerons plus loin les causes.

Détails sur les avaries constatées à la chaudière. — Le corps principal de la chaudière n'a subi aucune altération grave; la partie inférieure de deux clouures transversales était seule entrebaillée à la suite de l'échauffement et de la dilatation des tôles, et l'on a dû y mettre des pièces. Le bouilleur de droite n'offrait aucune détérioration; celui de gauche présentait (Pl. X, *fig.* 4, 5 et 6) une déchirure commençant à 0^m,65 de l'origine du foyer et se terminant à 0^m,05 au delà de l'arête antérieure de l'autel; les deux extrémités A et E laissant entre elles un intervalle de 1^m,20 de longueur étaient situées sur une même génératrice ou cylindre; la partie la plus élevée de la déchirure suivait sensiblement la direction d'une autre génératrice BD. Le segment de tôle AB'C'D'E qui s'était rabattu était un peu *voilé* (*) dans la partie voisine de l'autel. Les bords de la déchirure et du segment rabattu montraient d'ailleurs une tôle en fer nerveux de qualité satisfaisante, avec des effets d'arrachement bien

(*) Il y avait eu boursoufflement de la tôle et un étirage du métal; de là les diminutions d'épaisseur et un certain allongement observés dans la demi-section inférieure de cette partie du bouilleur.

nets; nous y avons mesuré des épaisseurs variant entre 9 et 10 millimètres.

Quant aux appareils de sûreté installés sur la chaudière ils n'ont pas souffert. Les poids des soupapes sont restés en place; seule la soupape d'arrière se présentait en partie levée et reposant de travers sur son siége, comme ayant été soulevée brusquement et n'ayant pu retomber d'aplomb.

Causes de l'explosion. — En examinant les bouilleurs, nous avons constaté que celui de droite avait gardé intacte la couche habituelle de *suie*; toutefois, en regard de la déchirure de l'autre bouilleur, il portait la trace du jet de vapeur et de boues qui l'avait frappé en ricochant vers la porte du foyer. Il n'en était pas de même du bouilleur déchiré; la couche de suie avait disparu sur toute la longueur de la première tôle inférieure; la tôle ainsi découverte montrait en certains points de sa surface de petites écailles, qui n'étaient autre chose qu'une couche mince d'oxyde de battitures; elle présentait aussi une couleur bleuâtre très-caractéristique avec certains reflets ou nuances rougeâtres. — Il était manifeste que cette tôle avait été portée à la température rouge, ce qu'indiquent encore le fendillement et la couleur jaunâtre du dépôt des eaux aux environs de la déchirure.

La chaudière avait été nettoyée six semaines avant l'accident, et le dépôt en question avait une faible épaisseur et peu de consistance. L'échauffement de la tôle ne peut être imputé ici, comme dans d'autres explosions, à l'existence d'un dépôt aussi faible et aussi peu adhérent. Pareille explosion aurait eu lieu alors que la chaudière eût contenu encore un certain volume d'eau, et l'on sait que dans ce cas la force vive emmagasinée dans ce volume d'eau à une température supérieure à 100 degrés, produit, lors de sa réduction en vapeur et de son écoulement, des effets mécaniques terribles. L'absence de tels effets indique de suite que la chaudière était *vide* ou *presque vide*.

Une autre preuve de ce fait, c'est qu'en supposant un certain volume d'eau dans la chaudière lors de l'explosion, toute cette eau n'aurait pu se réduire en vapeur; une partie se serait répandue sur le sol du cendrier et de l'avant-foyer. Or après avoir fait dégager ce dernier, nous n'y avons trouvé aucune humidité; les cendres du foyer étaient sèches et pulvérulentes. Au surplus, nous avons fait ouvrir le bouilleur de droite; il ne renfermait qu'une couche d'eau de $0^{m},05$ de hauteur et bien que la pression de la vapeur, agissant au moment de la déchirure de l'autre bouilleur, ait pu faire repasser dans ce dernier par le tuyau d'alimentation (*) une certaine quantité d'eau, les considérations précédentes tendent à faire croire que le bouilleur de droite n'était plus baigné entièrement par l'eau.

Il y a donc eu *défaut d'alimentation* et défaut *prolongé.* La surface de chauffe étant en effet de 65 mètres quarrés, si l'on admet une production moyenne de 20 kilogrammes de vapeur par mètre quarré, la chaudière pouvait donner par heure un poids total de 1.300 kilogrammes de vapeur à la pression de six atmosphères ou à la température de $150°,2$. En prenant 0,928 pour la densité de l'eau à cette température, les 1.300 kilogrammes de vapeur correspondraient à l'évaporation de $1^{mc},400$ de vapeur. Si la surface de chauffe de la chaudière diminuait avec l'abaissement du niveau de l'eau, par contre l'échauffement des parties de tôle découvertes accélérait l'évaporation; d'autre part on n'avait observé le matin même de l'accident aucun ralentissement dans l'arrivée de la vapeur (**). On peut donc admettre que le poids de vapeur produite, et par suite le volume d'eau vaporisé par heure restaient sensiblement constants, bien que le niveau de l'eau baissât. Dans cette

(*) Ce tuyau se bifurque vers le bas de la chaudière et envoie dans chaque bouilleur une branche descendant près du fond.

(**) La vapeur alimente : 1° la machine qui fait mouvoir des pompes et une paire de meules; 2° les appareils de distillation.

hypothèse, pour vider la chaudière proprement dite (supposée remplie d'eau à mi-hauteur) et seulement l'un des deux bouilleurs, il se serait écoulé un nombre d'heures au moins égal à $\frac{7^{m^3},337 + 4^{m^3},040}{1^{m^3},400} = 8$. Ce nombre de huit heures est un ***minimum***; car un autre calcul dans le détail duquel il est inutile d'entrer, nous a montré que d'après la quantité de charbon moyennement dépensée par jour suivant la déclaration du sieur Taillez, on ne demandait par heure à la chaudière qu'un poids de vapeur notablement inférieur aux 1.300 kilogrammes susmentionnés.

L'usine ne marchant pas la nuit, le défaut d'alimentation remontait ainsi à la veille de l'accident, et d'ailleurs, si le sifflet d'alarme avait depuis trois jours des tendances si marquées à fonctionner, c'est que le malheureux Lambert laissait marcher la chaudière avec un niveau d'eau trop abaissé au-dessous de la hauteur normale. Cette obstination à ne pas tenir compte des indications persistantes du sifflet d'alarme est quelque chose d'inexcusable (*) chez un chauffeur ayant, comme Lambert, conduit déjà des chaudières depuis un certain temps.

Avant d'imputer ainsi au chauffeur le manque d'eau, nous avions dû nous demander si, à son insu, quelque vice de fonctionnement n'était pas intervenu dans la ***pompe d'alimentation***. Celle-ci a été établie dans des dimensions plus que suffisantes ; aussi ne la faisait-on jouer que d'une manière intermittente, en manœuvrant un robinet d'air installé sur le corps de pompe. L'examen des divers organes de la

---

(*) Avec une telle incurie, il est probable que la chaudière eût-elle été munie d'un tube indicateur du niveau de l'eau, Lambert en aurait négligé les indications comme celles du sifflet, ou plutôt n'aurait pu en tirer aucun renseignement; car l'usage de ce tube est subordonné à des nettoyages fréquents qui l'empêchent de s'encrasser, et trop de chauffeurs sont sur ce point d'une grande négligence.

pompe nous a montré qu'elle devait fonctionner convenablement, le clapet de refoulement en particulier retenait bien l'eau, ainsi que le prouvait l'existence de celle-ci dans toute la partie ascendante du tuyau de refoulement. D'autre part l'eau d'alimentation était prise dans une citerne où se rendent les eaux refroidies provenant du jeu des colonnes à distiller ou à rectifier, et le sieur Taillez déclare que dans la matinée du 13 septembre, il a vu couler comme d'habitude l'eau se déversant de cette citerne par un trop-plein. Enfin, eu égard aux dimensions des pompes spéciales desservant les appareils de la distillerie, les eaux provenant des colonnes distillatoires devaient être suffisamment froides (*).

D'après ces détails le manque d'alimentation ne peut être imputé qu'au chauffeur lui-même. Il avait l'habitude, nous a-t-on dit, de remplir le soir sa chaudière pour qu'elle pût marcher quelque temps le lendemain matin sans être alimentée ; le 12 au soir, Lambert avait certainement omis cette manœuvre. Déjà le niveau de l'eau devait être au-dessous de la hauteur voulue et il a suffi le lendemain matin que Lambert négligeât encore une fois l'alimentation ou se trompât dans la manœuvre du robinet de la pompe pour qu'on comprenne l'abaissement rapide du niveau de l'eau. En même temps les parties de la tôle découvertes et soumises à l'extérieur au contact des flammes, s'échauffaient fortement et communiquaient à la vapeur une température très-élevée, sans que la pression dépassât six atmosphères (seulement la vapeur n'était plus à son maximum de saturation). L'existence de cette haute température de la vapeur explique le grand échauffement (**) du tuyau de prise de vapeur. Lors-

(*) On sait en effet qu'avec des eaux un peu trop chaudes les pompes ne fonctionnent plus.

(**) Dans sa *Notice sur les explosions de chaudières à vapeur*, Arago relate divers exemples d'un pareil échauffement des parties supérieures d'une chaudière.

que la chaudière se fut vidée, l'évaporation s'accéléra rapidement dans les bouilleurs exposés dans une grande partie de leur surface à l'action directe des flammes; celui de gauche, soit par le fait d'une plus grande conductibilité du métal, soit par l'existence sous la première tôle d'une *surépaisseur* (*) de la couche de houille, s'est vidé le premier, et la tôle a rougi surtout dans la partie qui s'est déchirée, partie correspondant à l'endroit où les flammes s'infléchissent vers l'autel et forment ainsi contre le bouilleur une sorte de dard de chalumeau. S'il avait pu être prouvé qu'au moment où Lambert avait vu *la pression baisser* il était en train d'alimenter, l'explosion eût été la conséquence naturelle de cette introduction d'eau froide; mais devant la dénégation de Lambert à ce sujet, un instant avant l'explosion, nous ne voyons que l'hypothèse suivante pour expliquer la rupture du bouilleur. Quelques minutes auparavant, l'ouvrier Douchet avait, dans une bonne intention, mis la pompe en marche, et Lambert venait ensuite arrêter le jeu de la pompe. A ce moment le bouilleur de gauche était sans doute vide; l'eau ainsi introduite au contact d'un métal très-fortement chauffé aurait pris l'état sphéroïdal. La prise de vapeur continuant alors que celle-ci n'était plus produite en quantité suffisante, la pression a rapidement baissé. Il est d'ailleurs permis de supposer qu'en descendant dans l'avant-foyer, Lambert voulait examiner son feu et aura ouvert les portes du foyer. Il a pu suffire du contact de l'air froid sur la tôle rougie pour amener un certain abaissement brusque de température, coïncidant avec une di-

(*) Cette surépaisseur sur le côté gauche de la grille s'observe souvent par la faute des chauffeurs qui dirigeant leur pelle de la main droite jettent le charbon vers la gauche et négligent ensuite d'égaliser la couche de combustible. Il est du reste remarquable (et c'est sans doute là une des raisons) que dans un grand nombre de cas de rupture des bouilleurs, c'est celui de gauche qui se déchire dans la région du coup de feu.

minution de pression, circonstances qui ont détruit subitement l'état sphéroïdal de l'eau. Une grande quantité de vapeur se produisant tout à coup, le bouilleur a cédé facilement dans sa partie rougie où la ténacité du métal était bien diminuée; il s'est alors ouvert suivant une ligne de plus grande fatigue de la tôle, qui était en même temps celle de moindre résistance, et cette déchirure du bouilleur a donné lieu à une première détonation et à un jet de vapeur humide, qui ricochant sur l'autre bouilleur est venu atteindre Lambert en avant du foyer et l'a rejeté dans l'angle A de la fosse d'avant-foyer. Presque aussitôt s'est produit le rabattement d'une certaine partie de tôle et une deuxième détonation se faisait entendre; en même temps que l'ébranlement de l'air causait divers dégâts dans la toiture et le massif de la chaudière (*).

Conclusions. — En résumé, les faits mentionnés dans ce rapport nous amènent aux conclusions suivantes :

1° Le sieur Tailliez a contrevenu aux art. 5, 6 et 9 du décret impérial du 25 janvier 1865, sans que ladite contravention ait occasionné l'accident du 13 septembre.

2° L'explosion du bouilleur était due à un *défaut prolongé d'alimentation* par suite de la négligence du chauffeur Lambert, et ce dernier a péri victime de l'incurie avec laquelle il avait volontairement paralysé le jeu du sifflet d'alarme.

(*) Pour les chaudières puissantes où le foyer est profond, il faut (si l'on ne veut s'exposer à avoir des clouures au-dessus de la grille) donner une grande longueur à la première tôle enroulée *suivant sa largeur*, de telle sorte que les générateurs du cylindre sont parallèles à la direction du laminage et que la tôle travaille *perpendiculairement au sens du laminage.*

BULLETIN (*).

Accidents dans les mines du Staffordshire.

Pendant le cours de l'année 1866, les mines du Royaume-Uni ont été éprouvées par de nombreuses catastrophes. Après les incendies sont survenues les inondations, et aux inondations succèdent maintenant les explosions. On en signale trois, durant la même semaine, dans un rayon de 50 à 60 milles.

La première est celle de Bolton, par laquelle une soixantaine d'ouvriers ont été plus ou moins mutilés; la seconde, arrivée à Hoylemills, près de Barusley, a fait un plus grand nombre de victimes; la troisième explosion s'est produite dans la mine de Talk of the Hill, près de Tunstall, dans le Staffordshire Nord ; et celle-là est la plus terrible.

Cette mine, sise à un mille de la station de Harecastle, appartient à la compagnie dite *Nord-Staffordshire Coal and Iron Company*. Elle est en exploitation depuis dix-huit mois environ; ses produits sont connus sous le nom de *houille de Bauburg*. Elle a deux puits dont la profondeur atteint 500 yards; ses galeries, dans diverses directions, présentent aussi une étendue de 500 yards. 150 à 200 ouvriers travaillent habituellement dans cette mine. Le jour de la catastrophe, ils étaient descendus, comme à l'ordinaire, à cinq heures du matin, et c'est vers onze heures que l'explosion a eu lieu. On porte à 137 le nombre probable des morts.

On croit que l'explosion aura été causée par l'existence du feu grisou, qui était très-abondant dans la couche de houille atteinte récemment. Les ingénieurs avaient pris toutes les précautions nécessaires en pareille circonstance; on avait eu recours à tous les moyens connus de ventilation, et l'emploi des lampes de sûreté était de rigueur dans la mine. On pense, qu'ici comme ailleurs, l'imprudence de quelques mineurs aura déterminé l'explosion.

A l'occasion de cette catastrophe, un journal du Staffordshire a donné une statistique des accidents les plus importants qui sont survenus dans le pays; nous l'avons résumée dans le tableau suivant :

(*) Ce bulletin est composé de documents envoyés par l'Administration à la Commission des *Annales des mines* et extraits par M. Delesse, ingénieur en chef des mines.

DATES des accidents.	LOCALITÉS.	ACCIDENTS arrivés par explosions.	inondations.	causes inconnues.	NOMBRE d'ouvriers tués.
1658, en mai	Gallow Flat près Elswick		I		»
1710	Beusham	E			80
1743, le 18 janvier	North Biddick	E			17
1757, le 10 juin	Raveuworth	E			16
1766, le 18 mars	Walker	E			10
1767, le 27 mars	Fatfield	E			39
1778, le 8 décembre	Dolly Pit, Chaytor	E			24
1793, le 27 décembre	Hope Pit, Sheriff hill	E			14
1794, le 9 juin	Rickleton Pit, Pietre	E			30
1794, le 11 juin	Harraton	E			28
1795, le 24 avril	Paradise Beuwell	E			11
1797, le 19 avril	Rothwell Haigh, Leeds			X	13
1799, le 10 octobre	Lamley	E			39
1803, le 25 septembre	Wallsend	E			13
1805, le 21 octobre	Hebburn	E			35
1805, le 29 novembre	Oxclose	E			38
1806, le 28 mars	Killingworth	E			10
1809, le 14 septembre	Felling	E			12
1809, le 30 juin	East Ardsley près Wakefield			X	10
1812, le 25 mai	Killingworth	E			92
1812, le 10 octobre	Herrington Mill Pit	E			24
1313, le 28 septembre	Hall Pit, Fatfield	E			32
1813, le 24 decembre	Felling	E			22
1814, le 12 août	Hebburn	E			11
1815, le 3 mai	Heaton Main	E			75
1815, le 2 juin	Success Pit, Newbottle	E			57
1815, le 27 juin	Sheriff hill		I		11
1815, le 31 juillet	Newbottle	E			18
1817, le 30 juin	Row Pit, Harraton	E			38
1817, le 18 décembre	Plain Pit, Rainton	E			27
1819, le 19 juillet	Scheriff Hill	E			35
1819, le 9 octobre	George Pit, Lambton	E			13
1821, le 23 octobre	Wallsend (Bulsell's)	E			52
1823, le 3 novembre	Plain Pit, Rainton	E			59
1824, le 25 octobre	Dolly Pit, Newbottle	E			11
1824, le 19 novembre	George Pit, Lumley	E			14
1825, le 3 juillet	Judith Pit, Fatfield	E			11
1825, le 12 janvier	Golsforth près Leeds	E			25
1826, le 17 janvier	Jarrow	E			34
1826, le 30 mai	Townley	E			38
1828, le 30 novembre	Pit n° 1, Washington	E			14
1830, le 3 août	Jarrow	E			42
1832, le 15 juin	Newbottle	E			12
1833, le 9 mai	Spungwell	E			47
1835, le 18 juin	Wallsend	E			102
1836, le 29 janvier	Hetton	E			20
1839, le 28 juin	Hilda Wallsend	E			50
1841, le 22 novembre	Mount Osborne Pit			X	15
1844, le 28 septembre	Hasswell	E			95
1845, le 21 août	Jarrow	E			39
1846, le 5 mars	Oaks Colliery, Barnsley	E			73
1847, le 17 mai	Beeston Main, Leeds	E			9
1849, le 24 janvier	Darley Main			X	75
1850, le 11 novembre	Houghton	E			26
	A reporter				1.757

DATES des accidents.	LOCALITÉS.	ACCIDENTS arrivés par explosions.	inondations.	causes inconnues.	NOMBRE d'ouvriers tués
Report.	. . . .	. . .	. . .	. . .	1.757
1851, le 31 octobre. . .	West Moor.	E			11
1851, le 20 décembre.	Rotherham.			X	50
1857, le 17 février. . .	Lundhill.			X	189
1860, le 15 février. . .	Barnsley.			X	14
1860, le 2 mars. . . .	Buradon.	E			74
1860, le 20 décembre.	Hetton.	E			22
1861, le 8 décembre.	Barusley.			X	54
1862, le 20 janvier. . .	Hartley.	E			209
1862, le 5 février. . .	Gethin (Galles).	E			50
1862, le 10 novembre.	Walker.	E			16
1863, le 7 janvier. . .	Coxlodge.	E			19
	Total des victimes.				2.465

On voit donc que depuis le milieu du dix-septième siècle le nombre des ouvriers tués dans ces mines s'élève au chiffre énorme de 2.465.

(*Extrait d'une dépêche adressée, le* 14 *décembre* 1866, *à M. le Ministre des affaires étrangères, par* M. Boisselier, *consul de France à Birmingham.*)

Ressources en combustibles du Royaume-Uni.

Dès la fin du siècle dernier, le naturaliste John Williams, dans une histoire du règne minéral en Angleterre, exprimait des inquiétudes relativement à la durée probable de ses ressources carbonifères, et entrevoyait des dangers sérieux pour sa prospérité industrielle.

Les appréciations auxquelles il se livrait étaient d'ailleurs assez vagues, et comme chaque jour, en perfectionnant les procédés d'extraction, l'on augmentait le rendement des mines, l'opinion prit à peine garde aux préoccupations de ce savant.

Depuis lors, la vapeur est devenue le premier instrument de travail; la consommation de charbon a décuplée, et quelques voix se sont, à divers intervalles, fait l'écho de celle de John Williams,

mais pour être, comme elle, bientôt étouffées par l'insouciance de l'avenir, assez naturelle à un présent bien partagé. Ainsi passèrent inaperçus tous les avertissements jusqu'à 1850, où la question commence sérieusement à s'emparer de l'opinion.

Quelques hommes spéciaux voulurent se rendre un compte exact de la situation, et, bien que raisonnant sur des données encore incomplètes, ils se crurent autorisés à formuler en chiffre la durée probable des richesses carbonifères du Royaume-Uni.

L'exemple devint contagieux; les hommes politiques se joignirent aux industriels, et bientôt le parlement et la presse retentirent de pronostics tour à tour optimistes ou décourageants. Qu'on en juge!

Sir William Amstrong, l'éminent ingénieur dont les usines sont situées au centre d'un des plus riches gisements de l'Angleterre, déclara que deux siècles suffiraient, au train actuel de l'exploitation, pour rendre la houille d'une grande rareté.

M. Taylor, dans son ouvrage *Statistic of Coal*, estima, au rebours de sir William Amstrong, que les ressources présentes se prêteraient à une exploitation continue d'au moins dix-sept siècles; et, se fondant sur la probabilité de la découverte de nouveaux gisements, il se crut autorisé à traiter de prévoyance superflue les préoccupations générales.

M. Edward Hull, du *Geological Survey*, après une étude qui se distingue par sa clarté minutieuse, arriva sensiblement aux mêmes conclusions que sir William Amstrong.

M. Hussey Vivian, membre du parlement, affirma que le comté dont il était le représentant renfermait à lui seul assez de combustible pour suffire, durant cinq cents ans, à tous les besoins industriels, commerciaux et domestiques de l'Angleterre.

Nous pourrions citer plusieurs autres opinions également respectables, sans rencontrer entre elles plus de concordance que dans celles qui précèdent; industriels et savants sont à l'unisson pour se contredire.

S'il est un enseignement qu'on puisse, sans hésiter, tirer de ces débats, c'est que le premier devoir du Gouvernement est de rechercher la lumière, en procédant au plus tôt à une exploration rigoureuse de tous les gisements, et en ouvrant une enquête générale sur les questions relatives à la consommation aussi bien qu'à l'exploitation du charbon. Cette enquête sera difficile.

Quoi qu'il en soit, ce que nous avons dit suffit à montrer qu'il existe des causes légitimes de préoccupations.

Le relevé officiel des quantités de charbon extraites et exportées depuis douze ans mérite surtout d'être étudié; car il met en relief,

comme on va le voir, la progression énorme que suit l'épuisement des dépôts carbonifères, et justifie, amplement, toutes les mesures prises par le Gouvernement.

ANNÉES.	EXPORTATION.	CONSOMMATION locale.	POPULATION.
1854.	4.309.255	60.352.146	21.792.872
1855.	4.976.902	59.477.177	22.080.449
1856.	5.879.779	60.765.671	22.369.463
1857.	6.737.718	58.756.989	22.616.839
1858.	6.529.483	58.479.166	22.810.069
1859.	7.006.949	64.971.816	22.946.998
1860.	7.412.575	72.630.123	23.181.790
1861.	7.934.832	75.700.382	23.416.264
1862.	8.330.673	73.307.665	23.655.482
1863.	8.275.212	80.017.303	23.891.009
1864.	8.800.420	83.987.453	24.127.003
1865	9.170.477	85.461.038	24.375.000
Accroissement. . . . . . en douze ans.	4.861.222 (doublée).	25.108.893 (Près de moitié en sus).	2.582.128 Augmentation d'un dixième.

En comparant ces chiffres, on voit qu'à partir de 1860, l'exportation et la consommation locale s'accroissent chaque année dans une proportion notable.

Le traité avec la France, en favorisant la sortie des charbons et en donnant une impulsion nouvelle à toutes les industries, fut la cause première de ce mouvement. « Si cette progression continue sur le même pied, » dit un publiciste distingué, M. Stanley Sevons, dans un ouvrage publié il y a deux ans, « on verrait l'extraction du combustible atteindre, en 1900, le chiffre de 300 millions de tonnes, et de 2 milliards en 1950. 300.00c ouvriers sont aujourd'hui nécessaires à l'extraction de 92 millions de tonnes, mais il en faudrait 8 millions pour suffire aux travaux de 1950, et durant les quatre-vingt-quatre années qui nous séparent de cette époque, l'Angleterre dépenserait 100 milliards de tonneaux de charbon. »

Que de semblables supputations soient très-incertaines, nous l'admettons volontiers; mais le tableau qui précède n'en fait pas moins ressortir éloquemment l'intérêt qui s'attache, pour une partie de l'Europe aussi bien que pour l'Angleterre, à ce que l'enquête commencée ait un résultat favorable.

— M. le capitaine de vaisseau Pigeard, auquel la notice précédente est empruntée, donne ensuite un rapide aperçu des ressources hypothétiques qui pourraient parer à l'épuisement des gisements carbonifères; il signale aussi les économies que, suivant certaines personnes, l'on pourrait réaliser dans le régime des exploitations et dans celui de la consommation.

Le département géologique, dit-il, dont les statistiques embrassent tout le Royaume-Uni, évalue la perte totale de charbon à 20 p. 100 de la quantité extraite, c'est-à-dire en se reportant au tableau que nous venons de donner, environ à 19 millions de tonnes pour 1865.

Si de pareils chiffres sont pénibles à méditer, ils portent en revanche de si utiles enseignements, qu'il faut les accueillir avec gratitude. Cet immense déchet sera, quand on le voudra, réduit des 4/5, au profit du présent et de l'avenir. Si grand que soit le gaspillage de l'exploitation, il n'est pas, on le croirait à peine, à comparer à celui de la consommation. Nous avons entendu dire sur tous les tons que la plupart des foyers, qu'ils appartiennent à l'industrie, à la navigation ou aux maisons particulières, utiliseraient seulement une faible portion du calorique développé par le combustible. La perte atteint, d'après les supputations les plus modérées, jusqu'à 50 et 60 p. 100. Divers établissements ont, par des dispositions intelligentes, déjà réduit d'une manière notable leur consommation, mais il ne faudra sans doute pas moins qu'une hausse sensible des prix du charbon pour généraliser cette importante réforme. De leur côté, nos maisons pourraient, à l'aide de tuyaux de vapeur, être confortablement et uniformément chauffées partout, moyennant une dépense presque insignifiante, tandis qu'elles le sont, en général, fort imparfaitement et à un prix élevé.

(*Extrait d'un rapport adressé à M. le Ministre des affaires étrangères, par* M. Pigeard, *capitaine de vaisseau, attaché à l'ambassade de France à Londres.*)

Emploi de l'huile de schiste pour la fabrication du gaz d'éclairage.

Glasgow, le 19 décembre 1866.

Il est utile d'appeler l'attention sur un procédé basé sur l'emploi de l'huile de schiste, qui réduirait assez sensiblement la con-

sommation des charbons employés pour fabriquer le gaz d'éclairage, et qui, ne fût-ce qu'à ce point de vue, mériterait d'être étudié.

On sait que les usines à gaz de Glasgow emploient d'ordinaire un mélange de différentes espèces de charbons désignés sous le nom de *parrot coal*, qui rendent environ 8.000 pieds cubes de gaz de bonne qualité moyenne par tonne de 1.015 kilogrammes. Les houilles communes d'Angleterre ou d'Écosse produisent aussi, mais en quantités bien moindres, du gaz qui, entre autres inconvénients, présente celui de donner beaucoup moins de lumière. Le procédé pour lequel M. G. Mackenzie, de Glasgow, a pris un brevet, et dont il a fait l'essai sur une assez grande échelle, à Johnstone, petite ville manufacturière du comté de Renfrew, consiste à utiliser, pour cette fabrication, les houilles de toute espèce et de toutes qualités, en les réduisant en poudre et en les saturant d'une certaine quantité d'huile minérale non purifiée, laquelle est extraite de schistes houillers restés jusqu'ici sans emploi.

M. Mackenzie obtiendrait ainsi, si les comptes rendus de ses expériences sont exacts, un rendement double de celui des charbons à gaz ordinaires, c'est-à-dire environ 16.000 pieds cubes de gaz par tonne, tout en retirant des cornues un coke de bonne qualité; en outre le gaz préparé par ce système, indépendamment de ce qu'il serait plus pur et plus riche en carbone que le gaz habituellement distribué dans les villes, fournirait une lumière beaucoup plus vive.

Cette application de l'huile de schiste à la fabrication du gaz aurait, on le voit, à défaut d'autres avantages, celui de diminuer de moitié la somme de charbon nécessaire pour obtenir une quantité de gaz donnée et permettrait de tirer parti des menus et des poussières, qui ont comparativement très-peu de valeur et encombrent le plus souvent les abords des mines.

Quant au côté économique de la question, il n'est pas encore bien connu; les conditions dans lesquelles l'expérience a été faite au centre d'un bassin houiller fort riche et dans le voisinage immédiat d'un grand nombre de puits d'extraction, n'ont pas permis de l'apprécier très-complétement jusqu'ici; mais l'invention de M. Mackenzie doit présenter d'assez grands avantages dans les localités qui sont situées à une grande distance des mines et pour lesquelles les frais de transport augmentent sensiblement le coût du charbon. En tout cas les grandes compagnies d'éclairage du Royaume-Uni sont assez sérieusement menacées dans leurs intérêts par l'élévation croissante du prix des salaires et de la houille et aussi par la dépréciation simultanée de quelques-uns des résidus

de leur fabrication, tels que le goudron, l'huile de naphte et le sulfate d'ammoniaque dont elles ne tirent plus le même profit que par le passé.

(*Extrait d'une dépêche adressée à M. le Ministre des affaires étrangères par* Bouillat, *consul de France à Glasgow.*)

Combustibles à Bencoulen, île de Sumatra.

Des gisements de combustible minéral ont été découverts de 1856 à 1860 à l'île de Sumatra, dans les colonies hollandaises. Ils sont situés dans la résidence de Bencoulen, sur le versant occidental de la chaîne de montagnes qui divise l'île en deux parties dans le sens de sa longueur. Dans cette région, le sol est abrupte et sillonné par de nombreux torrents qui en rendent l'accès difficile.

Sur une superficie de terrain qui ne présente pas moins de 4.720 mètres de longueur sur 3.740 mètres de largeur, un combustible minéral ressemblant à de la houille apparaît à la surface du sol, en divers points assez éloignés les uns des autres. Les principaux gîtes sont situés près du torrent de Kamouning, non loin de la petite rivière de Kindan-Hati.

Quatre sondages exécutés sur ce point ont donné une moyenne de $11^m,11$ pour l'épaisseur totale des couches de houille.

Tout près du précédent gisement se trouve celui de Pegambir, qui est divisé par deux torrents dont les rives escarpées présentent des blocs de houille de dimensions gigantesques. L'épaisseur totale de la houille est d'ailleurs de $12^m,20$.

Il paraît vraisemblable que ce gisement et celui de Kamouning appartiennent au même bassin.

En amont, on trouve un troisième gisement, celui de Mangous, qui n'a pas encore été complétement exploré et dont les diverses couches de houille offrent une épaisseur moyenne de $12^m,10$ sur les points où elles ont été observées.

Les terrains explorés jusqu'ici couvrent une superficie de 7.652.800 mètres quarrés; mais la couche de charbon, en raison des ondulations qu'indiquent ses fréquentes apparitions à la surface du sol, doit présenter un développement horizontal beaucoup plus considérable.

Des données positives, bien que très-incomplètes, possédées aujourd'hui par l'administration coloniale, portent à croire que dans

la superficie indiquée ci-dessus, le volume de houille ne s'élève pas à moins de 200 millions de mètres cubes.

Des difficultés de deux genres s'opposent d'ailleurs à son exploitation.

C'est, en premier lieu, l'insuffisance de la population et son peu de goût pour le travail des mines. Afin de remédier au manque de bras, il serait nécessaire de recourir à l'immigration de colons chinois.

Le second obstacle, beaucoup plus sérieux, consiste dans l'absence presque complète de voies praticables. La minime quantité de houille que l'on extrait est transportée à la côte au moyen de charrettes attelées de buffles, par un chemin à peine tracé, qui, pour éviter les collines, les marécages et le passage difficile de quelques torrents, décrit de longues sinuosités; en outre il est rendu impraticable une partie de l'année par l'effet des pluies. Les frais du transport effectué dans ces conditions désavantageuses s'élèvent à la somme de 10 florins par tonneau.

Cependant la rivière de Bencoulen, navigable à une grande distance de la côte et passant au centre du gisement houiller, pourrait offrir une voie économique et commode; il suffirait de relier les principaux centres d'extraction avec ce cours d'eau par de petits tronçons de voies ferrées. Toutefois la côte de Bencoulen, exposée à toute la violence des vents et de la mer pendant la mousson d'ouest, n'offre en tout temps que des mouillages peu sûrs et très-éloignés. Il serait donc utile de tracer une voie ferrée le long de la côte jusqu'à la baie de Poulo, qui se trouve à une distance de 18 kilomètres de l'embouchure de la rivière de Bencoulen. C'est dans cette baie que mouillent maintenant le paquebot-poste et le petit nombre de navires qu'emploie le commerce peu actif de Bencoulen.

L'ensemble des travaux préliminaires pour mettre les mines de Bencoulen en plein rapport peut donc se résumer ainsi :

1° Établir un système de petits chemins de fer mettant les principaux centres d'extraction en communication avec la rivière de Bencoulen;

2° Relier par un chemin de fer parallèle à la côte le cours de cette rivière à la baie de Poulo.

Toutefois l'exécution de ces travaux exigerait une mise de fonds supérieure aux moyens financiers dont peut disposer la colonie, en sorte que ce riche dépôt de combustible est exposé à rester improductif pour ses possesseurs et inutile pour l'industrie aussi bien que pour la marine, si l'on n'obtient pas le concours de capitaux étrangers.

M. de Codrika, consul de France à Batavia, signale encore les gisements de houille de Siboga, comme n'ayant qu'une épaisseur insignifiante, contrairement à l'opinion des premiers explorateurs, qui avaient été induits en erreur par des couches noires de schiste houiller.

(*Extrait d'une dépêche adressée à M. le Ministre des affaires étrangères, par* M. DE CODRIKA, *consul général de France à Batavia* [*Indes Néerlandaises.*])

Industrie minérale dans le bassin de Charleroy.

Charleroy, le 23 juillet 1866.

M. Jochamps (*), ingénieur en chef des mines de la province de Hainaut, en Belgique, a publié un rapport qui met bien en évidence l'importance de plus en plus grande qu'acquiert chaque année le bassin de Charleroy.

En effet, sur 11.800.000 tonnes de houille, produites en 1865 dans la Belgique, la province du Hainaut à fourni 9.200.000 tonnes et le seul bassin de Charleroy 4.120.000 tonnes, soit 35 p. 100 de la production totale de la Belgique et près de la moitié de celle de tout le Hainaut.

L'augmentation de production de 1864 à 1865 a été de 20 p. 100 à Charleroy, tandis qu'elle n'a été que de 9 p. 100 à Mons.

Elle a porté principalement sur les espèces de houilles propres à la forge qui sont gailleteuses et de qualité demi-grasse.

Pour se rendre compte de l'influence qu'a pu avoir cette augmentation sur la prospérité publique, il n'y a d'ailleurs qu'à examiner quelle a été l'augmentation du nombre des ouvriers, et aussi quelle a été la différence entre le prix de revient et le prix de vente.

Le nombre des ouvriers ayant augmenté dans les mines de houille du Hainaut de 1.900, soit seulement 2 p. 100, il est évident que chacun d'eux a fait une quantité beaucoup plus grande de travail utile.

Quant au bénéfice des exploitants, il peut, en moyenne, se résumer comme suit :

Le prix de revient moyen du Hainaut a augmenté de $0^f,26$

(*) Jochamps. *Industrie minérale de la province du Hainaut.* Mai 1866.

par tonne. Le prix de vente, qui était de $10^f,17$ en 1864, est remonté à $10^f,69$ en 1865, soit $0^f,52$ d'augmentation. Le bénéfice s'est accru de $0^f,26$, c'est-à-dire qu'il a été, en moyenne, de $1^f,28$ par tonne.

Dans cette moyenne, Charleroy a eu la part la plus belle, car le bénéfice, dans ce bassin, a été de. . . . . $1^f,49$
tandis qu'il n'était, dans le centre, que de. . . . . $1^f,40$
à Mons, que de. . . . . $0^f,97$

C'est la première fois que Charleroy occupe le premier rang pour le bénéfice net. On calcule qu'il y a été de 6.150.000 fr.
contre. 3.500.000 fr. à Mons,
et. . . . . 2.100.000 fr. au centre.

Charleroy, en effet, a produit, en 1865:

	4.120.000	tonnes	ayant coûté	$8^f,53$	vendues à	$10^f,02$
contre. . .	3.580.000	—	à Mons	$10^f,08$	—	$11^f,05$
et.	5.500.000	—	au centre	$10^f,25$	—	$11^f,65$

Sur 59 mines qui rapportent des bénéfices, 32 appartiennent au bassin de Charleroy, et sur 25 en perte, 6 seulement se trouvent dans ce même bassin. Il est donc en progrès et dans des conditions très-favorables.

— Si l'industrie métallurgique n'est pas largement rémunérée à Charleroy, elle présente cependant une grande activité et l'on y fait des efforts considérables pour réduire les prix de revient à leur dernière limite.

Sur 31 hauts fourneaux qui sont à feu dans la province de Hainaut, le bassin de Charleroy en possède 27.

La consommation, dans le bassin, a été, en 1865, de 751.000 tonnes de minerai, ayant produit 264.000 tonnes de fonte, tandis que 68.000 tonnes de minerai, ont donné 22.000 tonnes de fonte dans le reste de la province.

Pour les affineries, la proportion est à peu près la même. Charleroy possède :

230	fours à puddler sur.	265
95	fours à réchauffer sur.	110
87	trains de laminoirs sur.	105

Il a consommé 231.000 tonnes de fonte sur 255.000 et a produit 183.000 tonnes de fer sur 204.000.

La consommation de la houille industrielle à Charleroy, y compris celle de 42 feux de verrerie et d'autres industries plus secon-

daires, a été de 1.740.000 tonnes, dont moitié environ en charbon gras. Pour cette qualité, la production ne suffit même plus aux besoins, et les maîtres de forges ainsi que les propriétaires de verreries devront s'adresser aux bassins voisins. Heureusement la formation d'une société pour la construction d'un chemin de fer devant desservir les bassins houillers du Hainaut permet d'espérer que l'on pourra se procurer à Charleroy, à des prix convenables, les bons charbons gras du couchant de Mons.

(*Extrait d'une lettre adressée à M. le Ministre des affaires étrangères, par* M. J. D'ANGELIZ, *vice-consul à Charleroy.*

Ressources naturelles de l'Espagne,

Par M. DENIS DE LAGARDE,
Ingénieur et ancien élève externe de l'École des mines.

Lorsque l'on parcourt la péninsule Espagnole en cherchant à se rendre compte des richesses naturelles qu'elle possède, l'on est surpris d'y découvrir des ressources considérables et variées; mais on l'est bien plus encore de voir une grande partie de ces immenses richesses rester improductives.

Richesse agricole. — La fertilité du sol, les conditions spéciales du climat ont fait de l'Espagne un pays essentiellement agricole propre à toutes les cultures; dans le Midi et sur la presque totalité du littoral, l'olivier, l'oranger, le citronnier et, même sur quelques points, la canne à sucre viennent en pleine terre et ne nécessitent aucun travail que celui de la récolte; dans le centre, d'immenses terrains sont propres à la culture de la vigne, des céréales, etc.; dans les régions plus élevés, on retrouve tous les produits agricoles des zones tempérées; enfin les parties montagneuses, principalement celles du Nord, possèdent des forêts vierges et de vastes pâturages.

Cette richesse naturelle d'un sol sur lequel il suffit au sobre paysan espagnol de jeter une poignée de semences pour avoir des récoltes presque aussi abondantes que celles obtenues dans d'autres pays, à force de travaux et de soins constants, a eu pour fâcheux résultats de rendre, depuis des siècles, l'agriculture stationnaire; et l'on peut dire que, sauf aux environs immédiats des villes, l'agriculture espagnole n'a fait aucun progrès.

On ne s'est que fort peu préoccupé, jusqu'à présent, des grandes améliorations apportées dans d'autres pays à l'agriculture par l'étude approfondie de la composition géologique et chimique des terrains, ainsi que des phénomènes de la vie végétale; la routine n'a pas encore cédé en Espagne le pas à la science.

Comme travaux d'aménagement des eaux au point de vue agricole, on ne rencontre guère que les ruines des gigantesques aqueducs romains et des canaux maures.

L'agriculture est bien certainement moins prospère et moins avancée aujourd'hui, en Espagne, qu'elle ne devait l'être à l'époque de la domination romaine.

Toutefois quelques provinces, principalement celles de Valence, de Murcie, d'Alicante et la Catalogne, ont, depuis ces dernières années, amélioré leurs cultures; mais les provinces du centre, et du sud-est de l'Espagne sont restées étrangères à tout progrès. L'on y rencontre d'immenses terrains en friche, redevenus incultes.

Il est impossible de donner une idée même approchée de la production agricole de l'Espagne; le mémoire publié en 1861 par la direction générale de l'agriculture, de l'industrie et du commerce ne fournit aucun renseignement à cet égard, et il n'existe pas, du moins à notre connaissance, d'autres documents officiels sur la matière.

On peut uniquement se rendre compte de l'importance relative de la richesse agricole de l'Espagne par l'étude des éléments constituant le commerce général du pays, importation et exportation.

Richesse minérale. — La richesse minérale de l'Espagne n'est pas moins importante que sa richesse agricole; les montagnes de scories que l'on rencontre à chaque pas, ainsi que les restes des grands travaux d'art exécutés par les Carthaginois, les Romains et les Maures, sur les gisements d'argent, de cuivre et surtout de plomb, le développement que l'exploitation des mines a pris depuis quelques années, en dépit des obstacles sans nombre qui l'entravent, le prouvent suffisamment.

Nous n'avons pas ici l'intention d'entrer dans une étude complète et détaillée des éléments de la richesse minérale de l'Espagne; nous voulons seulement constater par quelques chiffres tirés des statistiques officielles, l'importance de cette source de la richesse publique.

La première statistique minérale espagnole qui ait été publiée, est relative à l'année 1856; elle est fort incomplète, comme l'est

généralement tout premier travail de ce genre; depuis la seconde, qui se rapporte à 1860, il en a paru une chaque année. La dernière, relative à l'année 1863, est beaucoup plus complète et doit être plus exacte que les précédentes.

La rédaction de ces satistiques est confiée aux soins éclairés d'hommes instruits et laborieux, mais malheureusement trop rares en Espagne, qui travaillent avec ardeur et abnégation à la prospérité de leur pays, à son développement moral et matériel. La voix de ces hommes est encore peu écoutée; car les esprits sont toujours préoccupés par les luttes des nombreux partis qui divisent la péninsule, et les vieilles habitudes, si contraires à l'activité et aux idées de progrès de notre époque, ne disparaissent que lentement.

L'ensemble des chiffres fournis par les statistiques donne une idée assez exacte de la situation actuelle de la richesse minérale de l'Espagne et de l'importance qu'elle prendra dans les échanges de la péninsule avec les autres nations, lorsque les causes complexes et nombreuses qui paralysent le développement industriel du pays auront cessé d'exister.

Les tableaux ci-joints résument les statistiques officielles. (*Voir* pages 509 et 510.)

Le tableau n° I indique l'accroissement qu'a pris l'exploitation des mines depuis 1860.

L'Espagne produit aujourd'hui plus de minerais de plomb, cuivre, zinc, manganèse, que l'Angleterre, et cependant dans quelles conditions se font ces exploitations!

Sur un total de 6.312 concessions, 1.808 seulement peuvent écouler leurs produits.

L'insuffisance ou plutôt l'absence complète de voies ordinaires de communication ne permet d'exploiter que les gisements exceptionnellement riches et bien situés; les transports devant presque toujours être à dos d'ânes ou de mulets, les mines qui se trouvent dans les provinces du centre de la péninsule, restent improductives; elles ne peuvent traiter leurs minerais sur place, un combustible quelconque, houille anglaise ou autre, leur reviendrait à 80 francs et plus la tonne; elles peuvent encore bien moins songer à exporter leurs minerais bruts.

Les mines situées sur les côtes et près d'un port sont les seules qui puissent être avantageusement exploitées; quelques-unes ont donné naissance à des usines qui payent sous palan de 35 à 40 fr. la tonne de charbon anglais; ce qui, avec les droits d'entrée, les

déchargements, chargements et transports, quelque minimes qu'ils soient, porte toujours le prix de la tonne rendue à l'usine à 48, 55 francs et au delà; aussi la plupart des mines, grâce à des frets de retour avantageux pour l'Angleterre, la Belgique et la France, ont-elles plus de profit à exporter leurs minerais.

— La production actuelle des houillères est à peu près nulle et ne peut donner aucune idée du développement qu'elle est susceptible de prendre.

Après une étude sérieuse des principaux bassins houillers de l'Espagne, on peut affirmer que leur richesse, sans être, comme l'ont prétendu quelques personnes, supérieure à celle des houillères anglaises, suffira largement à tous les besoins de la péninsule.

La production n'était, en 1863, que de 401.301 tonnes; elle atteindra et dépassera peut-être un chiffre quinze à vingt fois plus fort dans un laps de temps plus ou moins long, suivant l'efficacité des mesures qui seront prises pour développer l'industrie générale du pays.

Le Gouvernement espagnol s'occupe en ce moment de quelques réformes douanières; les droits successifs qui pèsent sur l'entrée des houilles étrangères vont sans doute être réduits. Il serait à désirer que ces droits fussent complétement abolis; cette mesure serait un encouragement sérieux donné à l'industrie, et, loin d'être nuisible à l'exploitation houillère du pays, elle lui serait, au contraire, très-favorable par le développement que prendrait la consommation; les bassins houillers de l'Espagne se trouvent presque tous dans des conditions aussi bonnes que possible pour éliminer, dès qu'ils seront mis réellement en exploitation, les combustibles étrangers sur tous les marchés de la péninsule.

— Les mines de fer pourront également suffire à la consommation du pays; mais elles ne sont pas exploitées.

Le tableau n° II prouve combien l'industrie métallurgique est peu développée en Espagne. La production en fonte, fer et acier est faible.

— La presque totalité des minerais de zinc et plus de la moitié des minerais de cuivre ont été exportés en Angleterre, en Belgique et en France.

— Les minerais de plomb sont en grande partie traités, dans la péninsule, à cause de la faible proportion de combustible que nécessite leur réduction et de la simplicité des opérations. Les usines à plomb qui se trouvent à quelque distance des côtes em-

ploient des broussailles comme combustible; il en faut une gran quantité pour maintenir les fours à la température voulue, et les pertes en métal qui se trouvent dans les résidus sont fortes; ces usines auront certainement un grand avantage à remplacer les broussailles par de la houille lorsqu'elles pourront se la procurer à des prix raisonnables.

— Le tableau n° III présente les résultats que tire le Gouvernement espagnol des mines et des usines qu'il exploite.

— Les salines rapportent au Gouvernement des bénéfices assez importants, mais les mines d'Almaden, Rio-Tinto, Linares et Hellin sont loin de produire entre les mains de l'État ce qu'elles produiraient exploitées par l'industrie privée. Cette opinion est, du reste, partagée par la plupart des ingénieurs du Gouvernement spagnol.

— Le tableau n° IV résume les valeurs brutes créées par l'industrie minérale, et les ressource que l'État retire des mines qu'il exploite ainsi que des droits et contributions qu'il perçoit sur l'industrie privée.

En 1862, l'État reçevait de l'industrie minérale un total de 152.561.584 réaux, sur lesquels 146.851.351 réaux, soit 40,55 p. 100 des valeurs créées par toute l'industrie minérale du pays, provenaient de l'exploitation de ses mines ou usines, et 5.710.233 réaux étaient perçus par lui sous forme de droits et contributions pour une valeur brute créée par l'industrie minérale privée de 215.258.496 réaux.

En résumé, l'exploitation des richesses minérales que renferme le sol de l'Espagne place actuellement ce pays à la tête des nations de l'Europe qui produisent la plus grande quantité de minerais métalliques, malgré les difficultés immenses que l'exploitation des mines doit surmonter; il est donc possible de se rendre compte de l'importance que prendra cette source de la richesse publique de la péninsule au fur et à mesure que ces difficultés s'aplaniront.

Statistique minérale d'Espagne.

Tableau n° I.

Années.	Nombre d'ouvriers employés.	Nombre de concessions productives.	Superficies des concessions.	Machines à vapeur.	Produits en tonnes métriques de l'exploitation des mines. — Minerais de : fer.	plomb.	plomb argentifère.	argent.	cuivre.	étain.	zinc.	mercure.	cobalt.	antimoine.	manganèse.	soude.	alun.	soufre.	houille.	lignite.	schiste bitumineux.	asphalte.
			tonnes.		tonnes.	tonnes.		tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonn.	tonn	tonnes.	tonnes.	tonnes	tonnes.	tonnes.	tonnes.		tonnes.
1860	28.554	1.988	22.039	39	175.503	316.819		12.300	146.003	6,8	108.802	8 041	3,5	60	28.862	17.557	»	23.045	321.773	17.531	»	62,8
1861	29.192	1.759	22.019	51	130.259	357.519		3.054	151.297	1.888	24.744	6.894	»	116	14.071	11.691	8.938	23.149	331.055	22.292	»	2.417,0
1862	31.800	1.286	22.899	52	213.192	277.845		2.524	227.719	101	41.104	16.115	2,7	85	6.459	5.022	8.142	12 639	360.245	28.696	»	1.166,0
1863	31.931	1.808	34.739	61	222.676	269.599	40.339	3.062	245.637	61	48.124	16.864	18,0	85	14.860	8.089	7.643	11.982	401.301	50.302	40	894,0

Tableau n° II.

Années.	Nombre d'ouvriers employés.	Nombre de fabriques: en activité.	arrêtées.	Machines: hydrauliques.	à vapeur.	Nombre de fours (a) : hauts fourneaux.	à reverbères.	d'affinage.	Forges catalanes.	Cubilots.	à manche.	de calcination.	Chaudières de Pattinson.	Produits des usines métallurgiques en tonnes métriques. Fonte de fer.	Fer forgé.	Acier.	Plomb.	Argent. Kilogrammes.	Cuivre.	Zinc.	Étain.	Mercure.	Antimoine.	Soude.	Soufre.	Asphalte.	Alun.
														tonnes.		tonn	tonnes.	kilog.	tonnes.	tonnes.	ton	tonn	ton	tonnes.	tonnes.	tonn	tonnes.
1860	8.171	345	235	372	104	41	233	83	280	»	445	»	»	41.138		»	82.498	142	2.704	1.853	4	40	3	3 316	3.710	200	1 380
1861	10.747	369	128	441	138	54	281	111	251	»	434	»	»	34.532	32.816	444	62.401	8.020	1.709	2.219	7	30	8	2.628	4.531	148	424
1862	10.875	353	133	402	132	50	359	85	307	19	416	»	53	48.106	41.068	162	62.768	13.759	2.889	1.883	5	769	»	2.805	2.444	225	225
1863	11.747	372	177	379	148	55	347	87	269	36	448	200	77	45.332 (b)	53.026	188	72.360	8.928	3.256	1.382	1	834	»	3.996	2.346	147	427

(a) 1° Les chiffres consignés donnent l'ensemble des fours en marche et des fours ne fonctionnant pas.
2° Ne sont pas compris dans le tableau : 2 fours de coupellation anglaise, 16 fours de coupellation allemande, 18 tonneaux d'amalgamation et 54 fours divers.

(b) 11.576 tonnes ont été employées pour moulages; le reste a été transformé en fer.

Statistique minérale d'Espagne.

Tableau n° III.

Années.	MINES ET ÉTABLISSEMENTS MÉTALLURGIQUES EXPLOITÉS PAR L'ÉTAT. — PRODUITS OBTENUS.															TOTAUX de la valeur des produits.
	Almaden.			Rio-Tinto.			Linares.			Hellin.			Mines de sel.			
	Cinabre extrait.	Mercure obtenu.	Valeur des produits.	Pyrite cuivreuse, extraite	Cuivre obtenu.	Valeur des produits.	Galene extraite.	Plomb obtenu.	Valeur des produits.	Minerai de soufre extrait.	Soufre vendu obtenu	Valeur des produits	Sel extrait.	Sel vendu.	Produit des ventes.	
	tonnes.	tonnes.	réaux.	tonnes	tonnes.	réaux.	tonnes.	tonnes.	réaux.	tonnes.	tonnes.	réaux.	tonnes.	tonnes.	réaux.	réaux.
1860	13.621	738	13.559.938	78.149	904	7.128.353	3.784	2.226	3.364.815	189.466	192	34.632	?	391.691	111.249.561	135.237.299
1861	11.359	908	17.066.110	95.314	1.191	8.901.786	3.574	2.265	3.214.656	»	82	65.955	?	201.774	115.482.397	140.730.904
1862	11.326	740	13.884.276	86.194	1.310	10.179.744	3 357	2.577	3.752.840	»	206	479.734	135.029	182.202	118.554.757	146.851.351
1863	9.442	815	14.246.172	97.494	1.335	10.470.320	3.914	2.442	3.622.510	»	»	»	?	187.271	?	?

Tableau n° IV.

Années.	VALEURS BRUTES créées par l'industrie minérale (a),		DROITS ET CONTRIBUTIONS PERÇUS PAR L'ÉTAT SUR L'INDUSTRIE MINÉRALE.					VALEURS des produits des mines et usines de l'État.	TOTALITÉ des ressources brutes que l'État retire de l'industrie minérale.
	du fait de l'exploitation brute (a).	après les opérations métallurgiques (a).	Droits de superficie.		Contribution de 3 p. 100 sur la valeur		Total des droits et contributions.		
			Nombre de concessions.	Montant des droits.	des minerais bruts.	des minerais traités.			
	réaux.	réaux.		réaux.	réaux.	réaux.	réaux.	réaux.	réaux.
1860	»	356.240.233	6.795	1.722.142	365.014	2.727.262	4.814.418	135.237.299	140.051.717
1861	145.381.500	357.967.915	7.212	2.044.021	317.536	2.718.904	5 081.461	164.730.904	149.812.365
1862	163.199.937	362.109.847	6.581	2.215.655	389.112	3.105.466	5.710.233	146.851.351	152.561.584
1863	166.073.965	275.765.055 (b)	6.312	2.439.799	478.792	3.033.739	5.952.330	28.339.002 (b)	34.291.332 (b)

(a) Y compris les valeurs créées par les mines et usines de l'État.

(b) Non compris la valeur du sel commun vendu par l'État en 1863, et qui n'est pas connue; elle doit être environ de 120 millions de réaux.

Importance relative des ressources naturelles de l'Espagne. — Nous aurions désiré pouvoir donner quelques renseignements précis sur la situation de l'industrie générale de l'Espagne; mais cela ne nous est pas encore possible, car nous n'avons reçu qu'une partie des renseignements demandés à ce sujet à MM. les directeurs des chemins de fer, et il est à craindre que l'ensemble de ces renseignements tarde longtemps à nous parvenir.

Le tableau du commerce général de l'Espagne est le seul document officiel qui fournisse quelques données précises sur la situation de l'industrie.

En analysant et groupant les éléments qui composent l'importation et l'exportation dont l'ensemble forme le bilan de la situation industrielle et commerciale d'un pays, on peut se rendre compte de l'importance relative de ses ressources naturelles; et lorsque l'on connaît déjà à peu près la valeur totale des ressources de ce pays et les causes de toute nature qui ont eu plus ou moins d'influence sur son degré de développement moral et matériel, on peut aussi se faire une idée exacte de l'état de son industrie.

Le tableau suivant indique les variations qu'a subies le commerce général de l'Espagne depuis 1850.

Années.	IMPORTATIONS. Valeurs.—Réaux.	EXPORTATIONS. Valeurs.—Réaux.	EXCÈS des importations sur les exportations	TOTAUX des importations et des exportations. Réaux.	DROITS de douane. Réaux.
			millions.		
1850	672.500.000	489.100.000	183,4	1.161.600.000	164.365.000
1852	752.970.000	568.683.000	188,3	1.325.653.000	160.355.000
1854	813.485.000	993.503.000	180,1	1.806.988.000	142.366.000
1856	1.304.168.000	1.083.617.000	240,5	2.367.785.000	186.712.000
1858	1.504.558.000	971.360.000	533,2	2.475.918.000	264.435.000
1860	1.483.313.498	1.098.203.445	385,1	2 581.516.943	220.830.000
1862	1.679.312.703	1.110.532.270	568,8	2.789.844.973	251.254.000

Excepté en 1854, les importations ont été constamment supérieures aux exportations de 220 millions de réaux en moyenne par an.

Si l'on tenait compte des valeurs introduites par la contrebande, qui est l'une des industries les plus prospères en Espagne, la différence moyenne entre l'importation et l'exportation serait probablement supérieure à 260 millions de réaux.

Les excès de l'importation sur l'exportation sont devenus plus forts à partir de 1856, à cause du développement donné depuis lors à la construction des chemins de fer dont la presque totalité du matériel a été fournie par les autres nations.

L'accroissement rapide de l'exportation est à noter et fait pressentir l'importance qu'elle atteindra lorsque les richesses de l'Espagne seront mises en exploitation.

Le tableau du commerce général de l'Espagne qu'on trouvera à la fin de cette notice est une classification des principaux articles importés et exportés de 1857 à 1862.

Il montre que :

1° Les matières premières sont en baisse à l'importation et plutôt en hausse à l'exportation ;

2° Les produits agricoles élaborés sont en hausse à l'exportation et en baisse à l'importation ;

3° Les produits fabriqués sont, pour l'exportation, en hausse sur la période de 1857 à 1861, et en baisse à l'importation.

En ne prenant que le commerce général de 1862, ses éléments peuvent se grouper comme il suit.

CLASSIFICATION.	IMPORTATION.				EXPORTATION.	
	Valeurs.	Droits perçus.	Tant p. 100 sur les valeurs.	Rapport des droits perçus aux valeurs.	Valeurs.	Tant p. 100 sur les valeurs.
I. *Matières premières.*	Réaux.	Réaux.			Réaux.	
1° Agricoles, bestiaux.	224.874.840	50.696.098	13,40		243.253.028	30,94
2° Matières premières textiles. . . .	112.975.120	8.212.863	6,70	19,09	35.362.248	3,09
3° Minéraux (houille et métaux bruts)	34.965.332	12.273.158	2,20		244.705.609	22,07
Totaux des matières premières. .	372.815.292	71.182.119	22,30		623.320.885	56,10
II. *Produits agricoles élaborés*. . . .	176.146.246	37.337.210	10,50	21,19	414.188.640	37,31
III. *Produits fabriqués.*						
1° Fils et tissus.	259.784.891	59.305.859	15,50		10.686.814	0,94
2° Produits métallurgiques.	111.263.477	24.794.004	6,70	15,53 (a)	»	»
3° Produits fabriqués divers.	658.057.978	48.635.244	41,20		62.825.931	5,63
Totaux des produits fabriqués. .	1.069.106.346	132.735.107	63,40		73.403.989	6,59
IV. *Tabacs*.	61.244.819	»	3,70		»	»
Totaux généraux.	1.679.312.703	241.254.436	99,90		1.110.532.270	100,00

(a) Pour calculer ce rapport, nous avons déduit de la somme 1.069.346 réaux la somme de 214.544.094 réaux représentant la valeur du matériel entré en franchise pour les chemins de fer et les travaux publics.

Ainsi, les matières premières importées forment les 22,30 p. 100 de l'importation totale, tandis que celles exportées forment les 56,10 p. 100 de l'exportation totale.

Les produits agricoles élaborés comptent pour 10,50 p. 100 dans l'importation et pour 37,31 p. 100 dans l'exportation.

Enfin les produits fabriqués entrent pour 63,40 p. 100 dans l'importation, tandis qu'ils n'entrent que pour 6,59 p. 100 dans l'exportation.

Les chiffres consignés dans la colonne des rapports entre les droits de douanes perçus par l'État et les valeurs des diverses classes de produits introduits, peuvent donner lieu à des observations importantes au point de vue du développement de l'industrie générale de l'Espagne.

COMMERCE GÉNÉRAL DE L'ESPAGNE

IMPOR-

PRODUITS.	ANNÉE MOYENNE DE 1857 A 1861. Valeurs. — Réaux.	ANNÉE MOYENNE DE 1857 A 1861. Droits d'entrée. Réaux.
I. Matières premières.		
1° Agricoles. — Bestiaux, etc.		
Bois de toutes classes.	31.167.707	2.058.262
Cacao de toutes classes.	40.687.640	14.181.678
Cannelles de toutes classes.	8.069.497	2.495.736
Café en grains.	4.305.308	993.246
Plantes.	3.066.972	507.702
Bestiaux de toutes classes.	21.475.736	1.829.524
Cuirs bruts.	31.479.308	2.294.221
Peaux de veaux et de mouton.	2.859.264	822.495
Morue.	52.282.676	22.203.527
Sommes partielles.	195.394.108	47.386.391
2° Matières premières textiles.		
Coton brut.	123 505.117	7.902.615
Soie écrue et filée.	25.770.130	1.661.019
Chanvre brut.	1.670.092	735.376
Chanvre de l'Inde brut et ouvré.	4.900.236	1.219.552
Sommes partielles.	155.845.581	11.518.562
3° Minéraux.		
Houilles.	31.152.199	11.998.373
Totaux des matières premières.	382.391.883	70.903.326
II. Produits agricoles élaborés.		
Sucre de toutes classes.	125.578.532	26.646.981
Vins étrangers en barils et bouteilles.	2.619.070	862.660
Eaux-de-vie.	21.905.678	5.090.568
Totaux des produits agricoles élaborés.	150.103.280	32.600.209
III. Produits fabriqués.		
1° Fils et tissus.		
Tissus de laine de toutes classes.	64.155.281	17.424.219
Fil de chanvre.	43.795.940	5.617.782
Tissus de coton pur.	36.285.515	14.032.443
Tissus de soie.	33.603.266	8.044.656
Tissus de chanvre et de lin.	16.042.223	4.306.459
Tissus mélangés.	4.404.9[illegible]3	1.684.857
Fil de coton de toutes classes.	2.613.850	1.059.054
Fil tordu de chanvre ou de lin.	2.284.545	606.393
Sommes partielles.	203.185.823	52.775.903
2° Produits métallurgiques.		
Machines et pièces de machines	33.713.021	1.759.715
Outils ordinaires.	8.426.925	939.355
Fers de toutes classes.	67.467.384	34.095.062
Aciers, tôles.	9.299.076	4.652 647
Fils métalliques, cuivre, laiton en feuilles.	14.038.731	3.768.276
Sommes partielles.	132.945.137	45.215.055
3° Produits fabriqués divers.		
Sel de toutes classes, excepté le sel commun.	7.943.104	853.323
Meubles, voitures, embarcations, passementerie, parfumerie, boutons.	27.339.624	9.793.976
Pour chemin de fer, travaux publics et divers.	601.197.761	41.902.465
Sommes partielles.	636.480.489	49 531.764
Totaux des produits fabriqués.	972.611.449	149.524.722
Tabacs.	60.000.000	»
Totaux généraux.	1.565.106.617	251.016.257

AINSI QUE DES ILES BALÉARES.

TATION.

Année 1861. Valeurs. — Réaux.	Année 1861. Droits. — Réaux.	Année 1862. Valeurs. — Réaux.	Année 1862. Droits. — Réaux.	Tarif pour 100 sur les valeurs.
56.469.414	3.198.600	45.790.990	2.873.094	
42.571.200	14.336.473	47.245.200	15.520.858	
7.690.598	2 351.507	10.156.484	2.331.420	
7.180.320	1.566.415	4.394.080	864.599	
6.106.678	1.002.604	3.607.356	778.927	
25.261.378	2.318.565	21.614.326	2.161.540	
39.443.710	2.652.131	34.859.700	2.332.077	
3.412.168	997.017	3.924.664	1.162.998	
50.985.000	22.256.139	53.282.040	22.670.585	
239.120.464	50.679.451	224.874.840	50.696 098	13,40
144.402.750	9.140.000	69.097.500	4.189.058	
55.413.580	3.597.494	39.155.700	2.549.873	
1.877.490	796.227	1.950.000	826.824	
13.007.900	3.187.262	2.771.910	647.108	
214.701.720	16.721.883	112.975.120	8.212.863	6,70
34.528.648	12 522.260	34.965.332	12.273.158	2,20
488 450.832	79.923.594	372.815.292	71.182.119	22,30
135.417.520	26.669.804	148.442.740	31.471.479	
2.995.654	984.684	3.380.956	1.099.168	
26.739.910	5.912.249	24.322.550	4.766.563	
165.153.084	35.566.737	176.146 246	37.337.210	10,50
75.353.026	19.628.547	70.558.788	18.034.349	
50.199.700	6.431.795	94.681.600	12.042.020	
42.572.591	16.749.988	30.645.527	11.615.279	
31.841.820	7.549.981	31.470.104	7.567.131	
18.820.794	5.044.153	22.203.323	6.271.677	
5.123.841	1.952.201	6.413.209	2.475 797	
4.500.077	1.769.844	1.887.840	727.945	
2.257.500	600 649	1.924.500	511.661	
230.669.349	59.727.158	259.784.891	59.305.859	15,50
32.374.582	1.961.935	39.719.967	1.796.846	
9 741.667	1 060.286	8.663.996	939.667	
38.489.321	15.775.293	38.442.570	15.544.108	
9.904.238	2.934.232	10.122.086	3 003.041	
13.745.558	5.430.517	14.314.858	3.510 342	
104.255.367	25.162.263	111 263.477	24.794.004	6,70
5.301.936	551.811	8.634.802	792.096	
32.647.319	8.049.053	38.488.994	9.036.181	
924.115 900	37.817.089	650.934.182	38.806.967	
952.065.155	46.417.953	698 057.978	48.635 244	41,20
1.296.989.871	131 307.374	1.069.106.346	132.735.107	63,40
70.000.000	»	61.244.819	»	3,70
2.020.593.787	246.797.705	1.679.31.2703	241.254.436	

COMMERCE GÉNÉRAL DE L'ESPAGNE AINSI QUE DES ILES BALÉARES.

EXPORTATION.

PRODUITS.	ANNÉE MOYENNE de 1857 à 1861. Valeurs en réaux.	ANNÉE 1861. Valeurs en réaux.	ANNÉE 1851. Valeurs en réaux.	TAUX pour 100 sur les valeurs
I. MATIÈRES PREMIÈRES.				
1° *Agricoles, bestiaux.*				
Fruits secs (amandes, raisins..., etc.). . .	100.992.264	88.828.195	95.997.535	8,65
Fruits verts (oranges, citrons..., etc. . . .	15.913.720	19.507.531	47.005.919	4,23
Farine.	86.679.637	145.242.460	86.511.352	7,72
Grains, légumes, semences.	37.833.734	61.297.818	30.363.377	2,73
Plantes.	4.979.086	6.089.468	12.974.085	1,17
Olives.	1.641.875	1.701.420	2.137.900	0,20
Paille en herbes sèches.	3.449.613	2.367.648	2.305.904	0,21
Safran.	8.153.598	8.995.000	18.060.090	1,62
Sparte brut.	1.446.258	2.434.380	6.929.600	0,62
Liége brut.	4.131.550	6.308.460	5.039.928	0,47
Garance en poudre et en branches. . . .	1.673.466	713.640	2.941.320	0,27
Réglisse en branches.	2.112.494	2.292.480	1.535.306	0,14
Cacao de toutes classes.	2.066.884	183.600	434.250	0,03
Bestiaux de toutes classes.	10.502.420	19.679.102	17.643.730	1,58
Viande de porc, vache, etc.	4.788.143	3.717.476	3.016.556	0,28
Peaux de toutes classes.	5.770.891	5.931.328	5.514.875	0,51
Œufs.	893.045	1.168.800	1.474.442	0,41
Poissons de toutes classes.	2.852.331	2.365.268	3.365.799	0,31
Sommes partielles.	295.881.009	378.824.014	343.253.028	30,34
2° *Matières premières textiles.*				
Laine brut et lavée.	28.408.297	30.098.749	30.961.078	2,78
Soies en coton, brutes.	6.050.990	4.527.778	4.401.170	0,31
Sommes partielles.	34.459.287	34.626.527	35.362.248	3,09
3° *Minéraux et métaux bruts de toutes classes.*				
Minéraux de toutes classes.	19.180.747	25.682.901	33.426.570	3,02
Métaux à l'état brut (mercure, plomb, cuivre, zinc en barrres ou lingots). . .	123.279.454	132.536.276	141.414.825	12,74
Sel commun.	14.293.891	16.706.744	20.636.254	1,85
Argent en lingots.	4.049.742	2.263.300	1.020.464	0,09
Argent monnayé.	78.608.169	95.030.541	48.207.496	4,36
Sommes partielles.	239.412.003	272.219.762	244.705.699	22,07
Totaux des matières premières. .	569.752.299	685.670.303	623.320.885	56,10
II. PRODUITS AGRICOLES ÉLABORÉS.				
Vins de toutes classes.	308.153.539	334.975.490	313.414.950	28,20
Sucre.	3.654.277	5.024.745	2.393.552	0,22
Eaux-de-vie de toutes classes.	18.175.393	21.950.400	20.133.240	1,81
Huile d'olive.	51.990.244	54.126.120	38.670.480	3,50
Liége en bouchons.	29.402.632	32.188.184	28.410.846	2,52
Charbon végétal.	4.613.052	9.545.430	6.424.425	0,59
Sparte ouvré.	2.588.232	3.445.090	2.784.370	0,26
Huile d'amandes.	2.187.222	2.928.069	865.487	0,08
Suifs.	1.757.324	663.772	1.391.290	0,13
Sommes partielles.	422.521.915	464.847.300	414.188.640	37,31
Totaux des produits agricoles. .	422.521.915	464.847.300	414.188.640	37,31
A reporter.	0.000.000.000	0.000.000.000	000.000.000	00,00

Suite du tableau précédent.

PRODUITS.	ANNÉE MOYENNE de 1857 à 1861. Valeurs en réaux.	ANNÉE 1861. Valeurs en réaux.	ANNÉE 1861. Valeurs en réaux.	TANT pour 100 sur les valeurs.
Reports.	0.000.000.000	0.000.000.000	0.000.000.000	00,00
III. PRODUITS FABRIQUÉS.				
1° *Fils et tissus.*				
Tissus de fil et coton.	3.183.219	3.583.184	6.062.747	0,51
Tissus de soie de toutes classes.	5.579.171	4.100.039	2.112.516	0,20
Tissus de laine de toutes classes.	1.846.549	2.097.785	1.750.350	0,16
Chanvre travaillé.	2.449.580	1.129.200	761.200	0,07
Sommes partielles.	13.058.519	10.910.208	10.686.814	0,94
2° *Produits fabriqués divers.*				
Savons.	17.237.948	21.000.150	20.628.520	1,86
Chaussures de toutes classes.	11.707.339	8.157.776	11.653.536	1,05
Papiers, livres imprimés, chocolat, divers.	72.257.641	78.914.723	30.053.875	2,74
Sommes partielles.	101.202.928	108.072.649	62.335.931	5,65
Totaux des produits fabriqués. .	114.261.447	118.982.857	73.403.989	6,59
Totaux généraux.	1.106.535.661	1.269.500.460	1.110.532.270	100,00

(*Extrait d'une notice adressée le* 10 *janvier* 1866 *à M. le Ministre des affaires étrangères par* M. DENIS DE LAGARDE).

TABLE DES MATIÈRES

DU TOME ONZIÈME.

MINÉRALOGIE. — GÉOLOGIE.

CHIMIE. — DOCIMASIE.

MÉTALLURGIE. — MINÉRALURGIE.

MÉCANIQUE. — EXPLOITATION.

ERRATA DU TOME XI.

Page 241, ligne 10 en descendant, *au lieu de :* fig. 2, *lisez :* fig. 14.

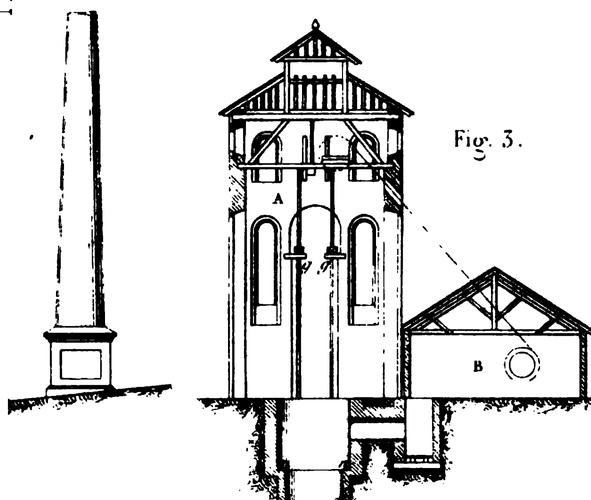
Page 407, *au lieu de :* exempts de soufre, *lisez :* par l'excès du chlorure de barium.

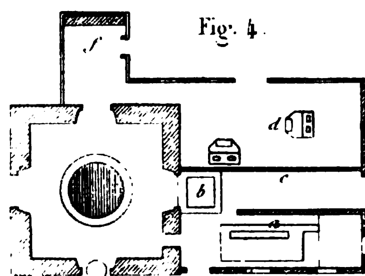
Page 415, *au lieu de :* cassures brutes, *lisez :* caseures d'un fer mal affiné.

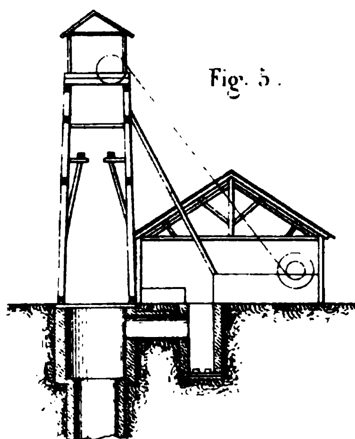
EXPLICATION DES PLANCHES

DU TOME ONZIÈME.

Paris. — Imprimé par E. Thunot et Cᵉ, rue Racine, 26.









Lemaitre Graveur de l'Empereur, sc.

Fig. 12.

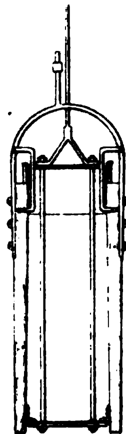
Puits de l'Hôpital Echelle de 0,001	Nature des terrains traversés
	Sable rouge avec plaquettes d'hématite
	S. jaune avec caill.x
	Sable rouge avec plaquettes
	Sable jaune
	Argile jaune
	Sable jaune
	Argile rouge sabl.se
	Sable rouge
	S. rouge et jaune
	Sable jaune
	Sable rouge argill.x
	Sable jaune orange
	Sable jaune avec nodules et plaquettes
	Sable jaune
	Argile jaune
	Sable jaune
	Argile rouge
	Sable jaune
	Argile rouge
	Sable argile
	Argile Sable
	Sable jaune
	Sable orange
	S. à gros grains
	Gr. roug. conglom.
	Gr. roug. argilleux
	Gr. roug. très dur
	G. roug. peu coloré
	Grès rouge très argilleux
	G. roug. avec cailloux
	Grès rouge argilleux
	Grès rouge avec nodules d'argile violette et cailloux

Fig. 2.

Fig. 11.

Lemaître, Graveur de l'Empereur sc.

Fig. 9.



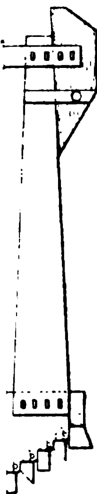
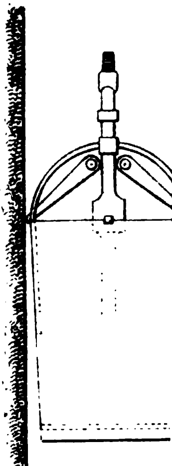


Fig. 6.

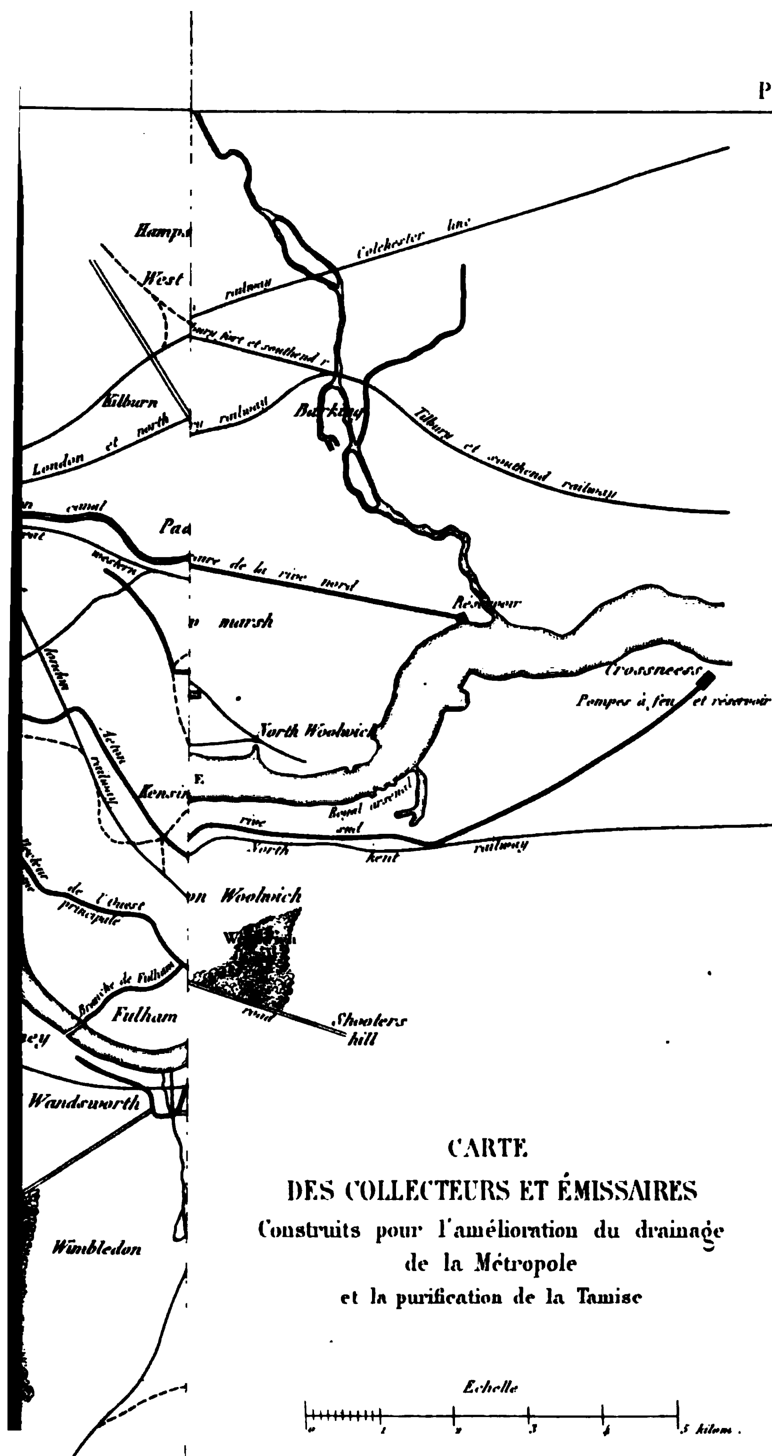




...tre.

3 | 6 mètres





 Lemaitre, graveur de l'Empereur.

Fig. 2. Section transversale suivt M.N.

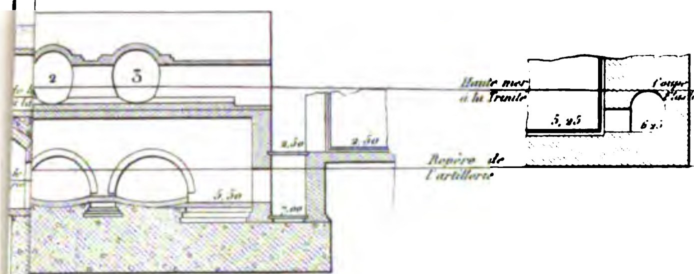
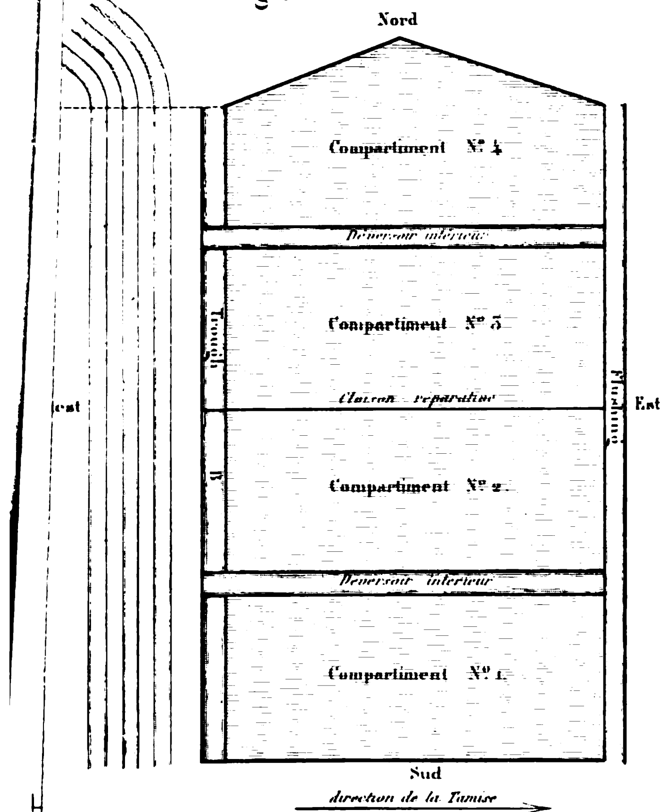
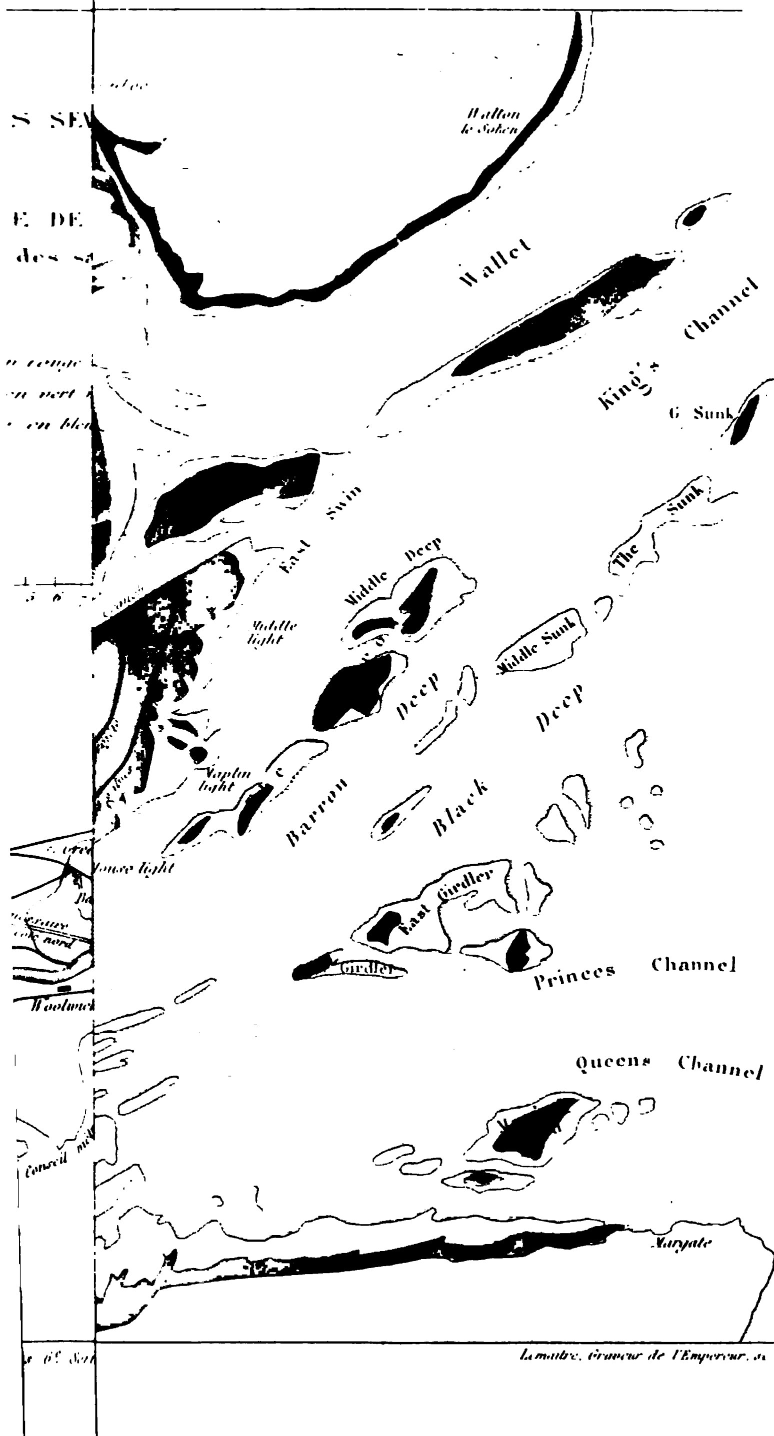
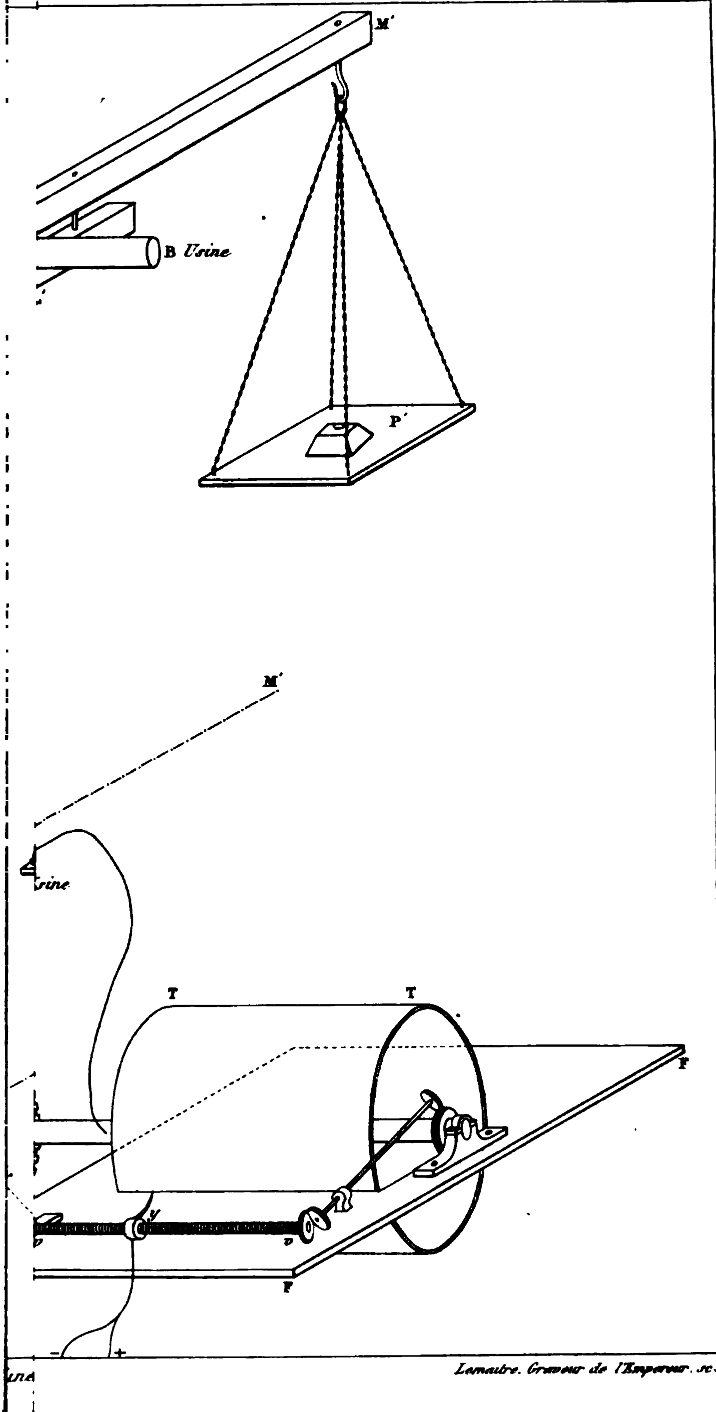


Fig. 4. Plan du réservoir.




Walton le Soken
Wallet
King's Channel
G. Sunk
East Swin
Middle Deep
The Sunk
Middle light
Middle Sunk
Deep
Deep
Maplin light
Barrow
Black
East Girdler
Girdler
Princes Channel
Queens Channel
Margate
Woolwich
Lemaitre, Graveur de l'Empereur, sc.



Lemaitre. Graveur de l'Empereur. sc.

una

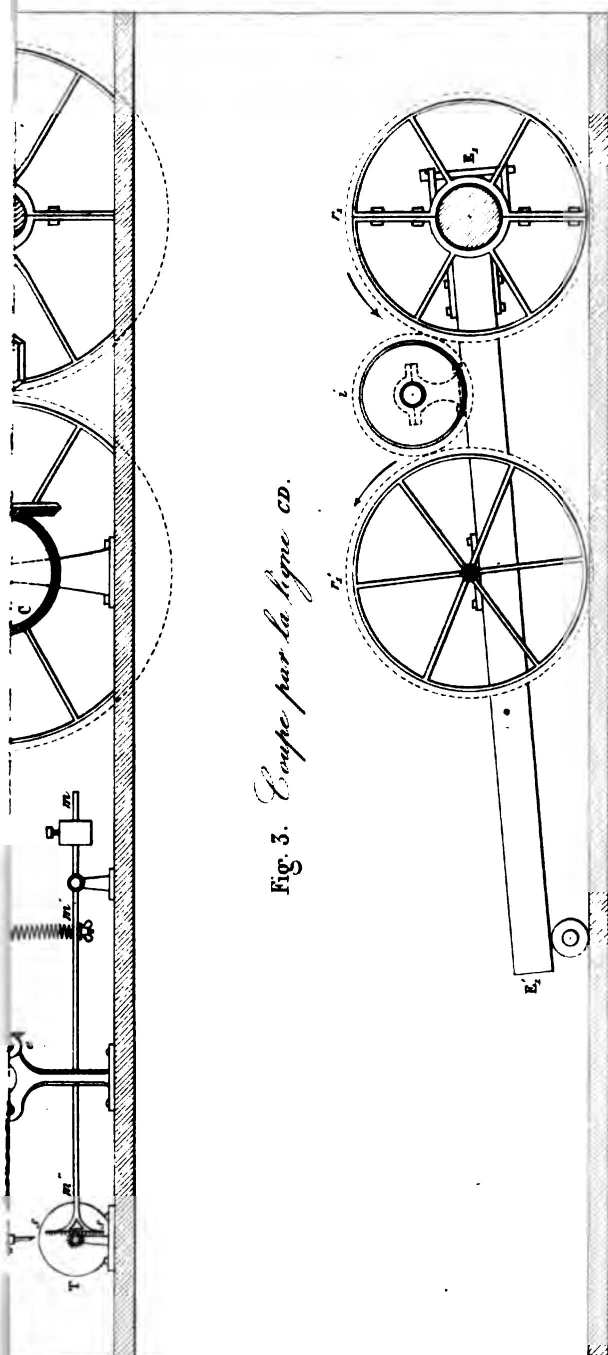
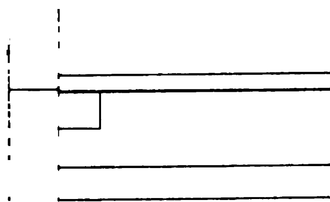
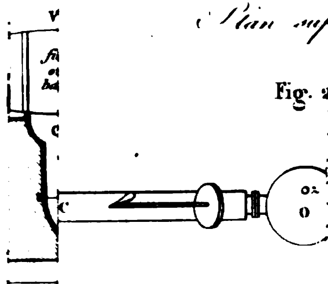
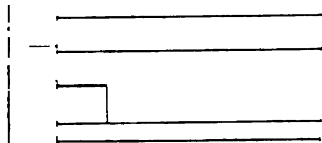


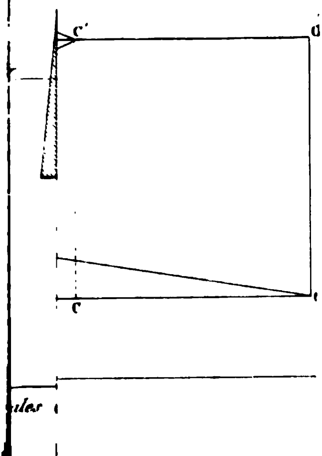
Fig. 3. Coupe par la ligne CD.

Lemaitre, Graveur de l'Empereur sc.



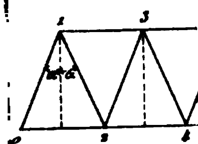

Plan sup
Fig. 2
c
o

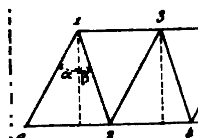


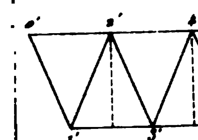

Fig. 3.
c'
d
c

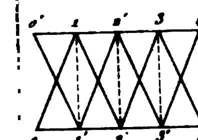
S. — MECAN

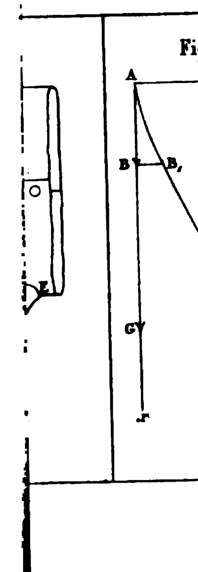
Calcu





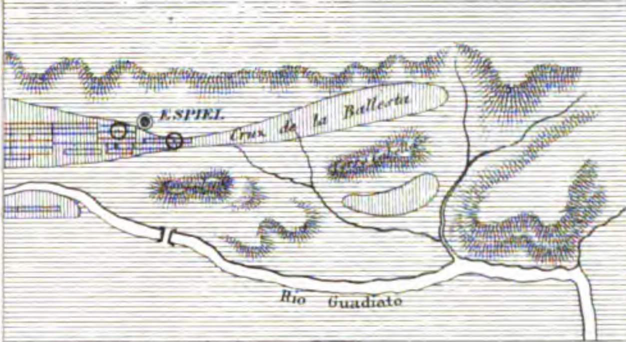








d'Espiel et Belmez



Coupe de la St.a Elisa

Fig. 6. Coupe verticale suivant CD.

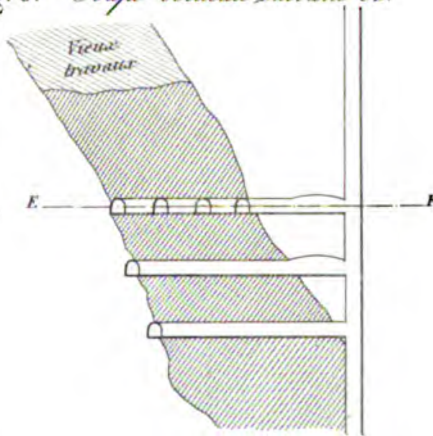
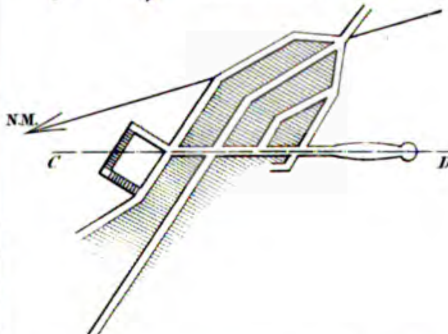


Fig. 7. Coupe horizontale suivt. EF.



...r étudier
...évolutions
...es terres

a Fig. 3.

...rien.

...bonifère.

...ouille.

Echelle

Echelle

Echelle

Lemaitre, Graveur de l'Empereur sc.